

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Antonio Radenić**

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Darko Smoljan, dipl. ing.

Student:

Antonio Radenić

Zagreb, 2018.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur.broj:   |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antonio Radenić**

Mat. br.: 0035199549

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt grijanja i ventilacije školske zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and ventilation system for a school building**

Opis zadatka:

Potrebno je proračunati i projektirati sustav grijanja i ventilacije za potrebe školske zgrade površine 1400 m<sup>2</sup> na 3 etaže (Po+Pr+1K), prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Za potrebe grijanja treba predvidjeti srednetemperaturni sustav s ventilokonvektorskim grijanjem i s kotlom na biomasu. Predvidjeti sustav prisilne ventilacije s varijabilnim protokom zraka ovisno o koncentraciji ugljičnog dioksida i povratom topline iz istrošenog zraka prema ventilacijskom zahtjevu.

Potrebno je riješiti pripremu potrošne tople vode u izvedbi akumulacijskog sustava. Zgrada se nalazi na području grada Petrinje.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro-priključak 220/380V; 50Hz
- vodovodni priključak tlaka 5 bar

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje
- hidraulički proračun cjevne mreže
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme
- tehnički opis sustava
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu automatske regulacije za potpuno automatski rad postrojenja
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

- 1. rok: 23. veljače 2018.
- 2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
- 3. rok: 21. rujna 2018.


Predviđeni datumi obrane:

- 1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
- 2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
- 3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Darko Smoljan

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Igoru Balenu na korisnim savjetima iz područja regulacije.

Zahvaljujem se svojem mentoru doc.dr.sc. Darku Smoljanu na velikodušnoj pomoći i susretljivosti prilikom izrade ovoga rada.

Antonio Radenić

# SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| SADRŽAJ .....  | I   |
| POPIS SLIKA .....  | IV  |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....                             | VI  |
| POPIS OZNAKA .....   | VII |
| SAŽETAK .....  | X   |
| SUMMARY .....  | XI  |
| 1. UVOD .....  | 1   |
| 2. OPĆENITI OPIS GRAĐEVINE .....                               | 2   |
| 3. TOPLINSKO OPTEREĆENJE ZGRADE .....                          | 4   |
| 3.1. Metoda proračuna toplinskog opterećenja .....             | 4   |
| 3.2. Proračun pomoću programskog paketa .....                  | 6   |
| 3.3. Provjera programskog rješenja ručnim proračunom .....     | 8   |
| 3.3.1. Projektni transmisijski gubici topline prostorije ..... | 8   |
| 3.3.2. Projektni ventilacijski gubici prostorije .....         | 9   |
| 3.3.3. Dodatni kapacitet zbog prekida grijanja .....           | 10  |
| 3.3.4. Ukupni toplinski gubici prostorije .....                | 10  |
| 4. VENTILACIJSKI SUSTAV .....                                  | 11  |
| 4.1. Ventilacija u školama .....                               | 11  |
| 4.2. Protok zraka .....  | 13  |
| 4.3. Elementi distribucije zraka .....                         | 14  |
| 4.4. Regulacija protoka zraka ventilacije .....                | 16  |
| 4.5. Dimenzioniranje kanala .....                              | 17  |
| 4.6. Proračun kritičnih dionica .....                          | 20  |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.7.   | Dimenzioniranje ventilacijskih jedinica .....                                    | 22 |
| 4.7.1. | Glavna ventilacijska jedinica .....  | 23 |
| 4.7.2. | Dvoranska ventilacijska jedinica.....  | 25 |
| 4.8.   | Odabir opreme ventilacijskog sustava sanitarnih prostora .....                   | 27 |
| 4.9.   | Analiza akustike unutar učionice .....   | 28 |
| 4.9.1. | Osnove akustike .....  | 28 |
| 4.9.2. | Akustički proračun učionice .....  | 28 |
| 5.     | SUSTAV GRIJANJA I POTROŠNE TOPLE VODE.....                                       | 31 |
| 5.1.   | Odabir ogrjevnih tijela.....   | 31 |
| 5.2.   | Regulacija toplinskog učinka ventilokonvektora .....                             | 33 |
| 5.3.   | Regulacija toplinskog učinka grijača i predgrijača ventilacijskih jedinica ..... | 34 |
| 5.4.   | Dimenzioniranje cijevne mreže.....   | 35 |
| 5.5.   | Odabir kotla i akumulacijske posude .....  | 38 |
| 5.6.   | Sustav pripreme potrošne tople vode .....  | 39 |
| 5.7.   | Ekspanzijska posuda.....   | 41 |
| 5.8.   | Proračun kritičnih dionica i odabir pumpa za sustav .....                        | 42 |
| 5.8.1. | Cirkulacijski krug kotao - akumulacijski spremnik: .....                         | 43 |
| 5.8.2. | Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilokonvektori .....              | 44 |
| 5.8.3. | Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilacijske jedinice .....         | 45 |
| 5.8.4. | Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - spremnik potrošne tople vode .....   | 47 |
| 6.     | TEHNIČKI OPIS SUSTAVA.....   | 48 |
| 6.1.   | Ventilacijski sustav.....  | 48 |
| 6.2.   | Sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode.....                              | 49 |
| 7.     | ZAKLJUČAK.....   | 51 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| LITERATURA..... | 53 |
| PRILOZI .....   | 54 |

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 2.1 Pogled na sjeveroistočno (ulazno) pročelje građevine.....                                     | 2  |
| Slika 2.2 Tlocrt prizemlja škole .....  | 2  |
| Slika 4.2 Distributer zraka DHV .....   | 14 |
| Slika 4.1 Distributer zraka DEV .....   | 14 |
| Slika 4.3 Korisničko sučelje programa AURA .....  | 15 |
| Slika 4.4 Rešetka CCV predviđena za bočnu ugradnju na kanal .....                                       | 15 |
| Slika 4.5 Rešetka OAB namijenjena za zidnu ugradnju.....  | 16 |
| Slika 4.6 Zračni ventil ZOV konstruiran za sanitarne prostore .....                                     | 16 |
| Slika 4.7 Regulator varijabilnog protoka RVP-C.....   | 17 |
| Slika 4.8 Glavna ventilacijska jedinica.....  | 23 |
| Slika 4.9 Dvoranska ventilacijska jedinica .....  | 25 |
| Slika 4.10 Kanalni ventilator RK 125 .....  | 27 |
| Slika 4.11 Nepovratna zaklopka ZPC .....  | 27 |
| Slika 4.12 Shema kritičnog mjesta za akustički proračun .....   | 29 |
| Slika 5.1 Ventilokonvektori Heliotherm Inverter proizvođača Riello .....                                | 32 |
| Slika 5.2 AB-QM ventil s TWA-Z pogonom .....  | 33 |
| Slika 5.3 Regulacijska karakteristika sustava [2].....  | 34 |
| Slika 5.4 AB-QM ventil s AME pogonom .....  | 34 |
| Slika 5.5 Kotao na pelete EKO-CKS P 230.....  | 38 |
| Slika 5.6 Akumulacijski spremnik CAS 3001 .....   | 39 |
| Slika 5.7 Spremnik PTV-a Vitocell 100-V .....   | 40 |
| Slika 5.8 Membranska ekspanzijska posuda MAXIVAREM LR CE volumena 400 l.....                            | 42 |
| Slika 5.9 Radna točka kotlovske pume.....   | 43 |
| Slika 5.10 Shema kritične dionice cirkulacijskog kruga akumulacijski spremnik - ventilokonvektori ..... | 44 |
| Slika 5.11 Radna točka pumpe sustava ventilokonvektora.....   | 45 |
| Slika 5.12 Radna točka pumpe sustava ventilacijskih jedinica.....                                       | 46 |
| Slika 5.13 Radna točka pumpe sustava PTV-a .....  | 47 |



## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1.1 Veza između PMV i PPD [1].....                               | 1  |
| Tablica 2.1 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata .....       | 3  |
| Tablica 3.1 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija u prizemlju..... | 6  |
| Tablica 3.2 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija na 1. katu ..... | 7  |
| Tablica 3.3 Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu .....            | 8  |
| Tablica 4.1 Kategorizacija kvalitete unutarnjeg zraka .....              | 11 |
| Tablica 4.2 Kategorizacija kvalitete vanjskoga zraka .....               | 11 |
| Tablica 4.3 Volumni protoci po prostorijama .....                        | 13 |
| Tablica 4.4 Dimenzioniranje kanala.....                                  | 18 |
| Tablica 4.5 Kritične dionice glavne ventilacijske jedinice .....         | 20 |
| Tablica 4.6 Kritične dionice dvoranske ventilacijske jedinice .....      | 21 |
| Tablica 4.7 Pad tlaka u sanitarnom odsisu .....                          | 21 |
| Tablica 4.8 Proračun razine zvučne snage po frekvencijama .....          | 29 |
| Tablica 4.9 Proračun ukupne razine zvučnoga tlaka .....                  | 30 |
| Tablica 5.1 Popis ogrjevnih tijela po prostorijama .....                 | 31 |
| Tablica 5.2 Dimenzioniranje cijevi .....                                 | 35 |
| Tablica 5.3 Kritična dionica kotlovske pumpe .....                       | 43 |
| Tablica 5.4 Kritična dionica pumpe ventilokonvektorskog sustava .....    | 44 |
| Tablica 5.5 Kritična dionica pumpe sustava ventilacijskih jedinica ..... | 45 |
| Tablica 5.6 Kritična dionica pumpe sustava potrošne tople vode.....      | 47 |

## POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Tlocrt spajanja i smještaja opreme sustava toplovodnog grijanja - prizemlje i podrum
2. Tlocrt spajanja i smještaja opreme sustava toplovodnog grijanja - prvi kat
3. Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prizemlje
4. Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prvi kat
5. Ventilacijska jedinica dvorane Genoix Comfort 10RDL
6. Glavna ventilacijska jedinica Genoix Comfort 16RDL
7. Shema spajanja i regulacije termotehničkog postrojenja škole

## POPIS OZNAKA

| Oznaka              | Jedinica              | Opis   |
|---------------------|-----------------------|--|
| $\Phi_T$            | W                     | transmisijski toplinski gubici   |
| $\Phi_V$            | W                     | ventilacijski toplinski gubici   |
| $\Phi_{RH}$         | W                     | toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja  |
| $\Phi_{HL}$         | W                     | projektno toplinkso opterećenje  |
| $\vartheta_{int}$   | °C                    | unutarnja projektna temperatura  |
| $A$                 | m <sup>2</sup>        | površina   |
| $H_{T,ie}$          | W/K                   | koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu  |
| $H_{T,iue}$         | W/K                   | koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu                           |
| $H_{T,ig}$          | W/K                   | koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema tlu   |
| $H_{T,ij}$          | W/K                   | koeficijent transmisijskih gubitaka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru na nižu temperaturu                   |
| $\vartheta_{int,i}$ | °C                    | unutarnja projektna temperatura  |
| $\vartheta_e$       | °C                    | vanjska projektna temperatura  |
| $U$                 | W/(m <sup>2</sup> ·K) | koeficijent prolaza topline  |
| $e_k, e_l$          | -                     | korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra                 |
| $l$                 | m                     | dužina linijskog toplinskog mosta  |
| $\psi$              | W/(m·K)               | linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta  |
| $f_{g1}$            | -                     | korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature  |
| $f_{g2}$            | -                     | faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature |
| $U_{equiv}$         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | ekvivalentni koeficijent prolaza topline   |
| $H_V$               | W/K                   | koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka   |
| $V$                 | m <sup>3</sup> /h     | protok zraka kroz grijani prostor  |
| $\rho_{zr}$         | kg/m <sup>3</sup>     | gustoća zraka  |
| $c_p$               | J/(kg·K)              | specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku   |
| $V_{inf}$           | m <sup>3</sup> /h     | protok zraka usljed infiltracije   |

|                   |                   |   |
|-------------------|-------------------|---|
| $V_{su}$          | m <sup>3</sup> /h | količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije |
| $\vartheta_{su}$  | °C                | temperatura dobavnog zraka                              |
| $f_V$             | -                 | faktor smanjenja temperaturne razlike                   |
| $f_{RH}$          | -                 | korekcijski faktor za utjecaj prekida grijanja          |
| $q_{V,d}$         | m <sup>3</sup> /h | volumni protok dobavnog zraka                           |
| $q_{V,p}$         | m <sup>3</sup> /h | volumni protok povratnog zraka                          |
| $\lambda$         | -                 | koeficijent trenja                                      |
| $\varepsilon$     | -                 | relativna hrapavost                                     |
| $k$               | mm                | apsolutna hrapavost                                     |
| $\eta_{zr}$       | Pa·s              | dinamička viskoznost zraka                              |
| $Re$              | -                 | Reynoldsov broj   |
| $DN$              | mm                | nazivni promjer   |
| $d_u$             | mm                | unutarnji promjer                                       |
| $w$               | m/s               | brzina strujanja  |
| $R$               | Pa/m              | linijski pad tlaka                                      |
| $L$               | m                 | duljina dionice   |
| $\zeta$           | -                 | koeficijent lokalnog gubitka                            |
| $Z$               | -                 | lokalni pad tlaka                                       |
| $W$               | W                 | zvučna snaga  |
| $L_W$             | dB                | razina zvučne snage                                     |
| $p$               | Pa                | zvučni tlak   |
| $L_p$             | dB                | razina zvučnog tlaka                                    |
| $f_m$             | Hz                | frekvencija   |
| $L_{pA}$          | dB(A)             | ukupna razina zvučnoga tlaka                            |
| $\Phi_{ot}$       | W                 | snaga ogrijevanih tijela                                |
| $\Delta\vartheta$ | W                 | promjena temperature                                    |
| $c_w$             | J/(kg·K)          | specifični toplinski kapacitet vode                     |
| $\rho_w$          | kg/m <sup>3</sup> | gustoća vode  |
| $\eta_w$          | Pa·s              | dinamička viskoznost vode                               |
| $C$               | W/K               | vodena vrijednost                                       |
| $q_V$             | m <sup>3</sup> /h | volumni protok potrošne tople vode                      |
| $\vartheta_{ul}$  | °C                | temperatura vode u vodovodnoj mreži                     |
| $\vartheta_{iz}$  | °C                | temperatura potrošne tople vode na izljevnom mjestu     |
| $\vartheta_s$     | °C                | temperatura potrošne tople vode u spremniku             |
| $z_a$             | h                 | vrijeme predzagrijavanja potrošne tople vode            |

|           |      |  |
|-----------|------|--|
| $z_b$     | h    | vrijeme korištenja potrošne tople vode                         |
| $b$       | -    | faktor negrijanog volumena                                     |
| $C_a$     | kW·h | akumulirana toplinska energija u spremniku potrošne tople vode |
| $n$       | -    | koeficijent volumnog širenja vode                              |
| $V_A$     | l    | ukupni volumen vode u sustavu                                  |
| $p_e$     | bar  | projektni krajnji tlak u sustavu grijanja                      |
| $h_{sys}$ | m    | statička visina instalacije                                    |
| $h_{dod}$ | m    | dodatna visina   |
| $p_o$     | bar  | primarni tlak  |
| $V_V$     | l    | dodatni volumen  |
| $V_e$     | l    | volumen širenja vode   |
| $V_n$     | l    | volumen ekspanzijske posude                                    |
| $q_m$     | kg/s | maseni protok  |

## SAŽETAK

U ovom radu prikazano je projektno rješenje sustava grijanja, ventilacije te pripreme potrošne tople vode Osnovne škole Jabukovac. Kao toplinski izvor koristi se kotao na pelete sa srednjetermperaturnim režimom rada (70/60 °C). Ogrjevnna tijela izvedena su kao ventilokonvektori odabrani prema toplinskom opterećenju pojedinih prostorija. Ventilacijski sustav je izveden pomoću dvije ventilacijske jedinice. Prva ventilacijska jedinica koristi se za ventilaciju glavnog dijela zgrade koji uključuje učionice i urede zaposlenika. Sustav je izveden u VAV (*eng. variable air flow*) varijanti s potrebnom regulacijskom opremom. Regulacija volumnog protoka zraka se vrši prema koncentraciji CO<sub>2</sub> unutar prostorija. Druga, manja ventilacijska jedinica koristi se za ventilaciju dvorane i pripadajućih garderoba. Ona je izvedena kao CAV (*eng. constant air volume*) sustav, te se njen rad poklapa s radom školske dvorane.

Ključne riječi: grijanje, ventilacija, škola

## SUMMARY

This paper presents the design of heating system, ventilation and preparation of domestic hot water of the Jabukovac Primary School. As a heat source, the pellet boiler is used with a medium-temperature operating mode (70/60 °C). The heating bodies were installed as fan coils selected for the thermal load of individual rooms. The ventilation system is provided by two ventilation chambers. The first ventilation chamber is used to ventilate a larger part of the building, including the classrooms and offices of the employee. The system is implemented in VAV (variable air flow) variant with the required regulating equipment. Airflow volume regulation is performed according to the CO<sub>2</sub> concentration inside the room. The second, smaller ventilation chamber is used for ventilation of the hall and associated wardrobes. It is installed as a CAV (constant air volume) system, and its operation coincides with the use of the school hall.

Key words: heating, ventilation, school

## 1. UVOD

Zadatak sustava grijanja, klimatizacije i ventilacije (GViK) je ostvarivanje toplinske ugodnosti unutar kondicioniranog prostora. Toplinska ugodnost se postiže održavanjem parametara upravljanim GViK sustavom unutar vrijednosti koje zadovoljavaju najveći mogući broj korisnika. Mjere toplinske ugodnosti su PMV (*eng.* Predicted Mean Vote) indeks i PPD (*eng.* Predicted Percentage of Dissatisfied) indeks. PMV indeks predviđa ocjenu ugodnosti boravka u prostoru, dok PPD indeks, koji je funkcija isključivo PMV indeksa, daje postotak nezadovoljnih korisnika unutar prostora. Analizom tablice 1.1 može se primijetiti da i pri idealnoj vrijednosti PMV indeksa od 0 ipak 5% ljudi ne osjeća toplinsku ugodnost te time dolazimo do zaključka da se niti teorijski ne može udovoljiti svim korisnicima kondicioniranog prostora.

Tablica 1.1 Veza između PMV i PPD [1]

| PMV | +3  | +2  | +1  | +0,5 | 0  | -0,5 | -1  | -2  | -3  |
|-----|-----|-----|-----|------|----|------|-----|-----|-----|
| PPD | 90% | 75% | 25% | 10%  | 5% | 10%  | 25% | 75% | 90% |

Glavni parametri koji utječu na toplinsku ugodnost su: [2]

- Temperatura zraka u prostoriji
- Temperatura ploha prostorije
- Vlažnost zraka
- Strujanje zraka
- Razina odjevenosti
- Razina fizičke aktivnosti
- Ostali faktori popu kvalitete zraka, buke...

Pri projektiranju GViK sustava važno je projektne parametre prilagoditi namjeni sustava, a izvedbu prilagoditi stanju na terenu i budžetu investitora. Optimalan rad sustava pri djelomičnim opterećenjima osigurava pravilno odabrana automatska regulacija, koja zadnjih godina ostvaruje najveći napredak, te se njenim korištenjem mogu ostvariti najveće uštede u pogledu pogonskih troškova.

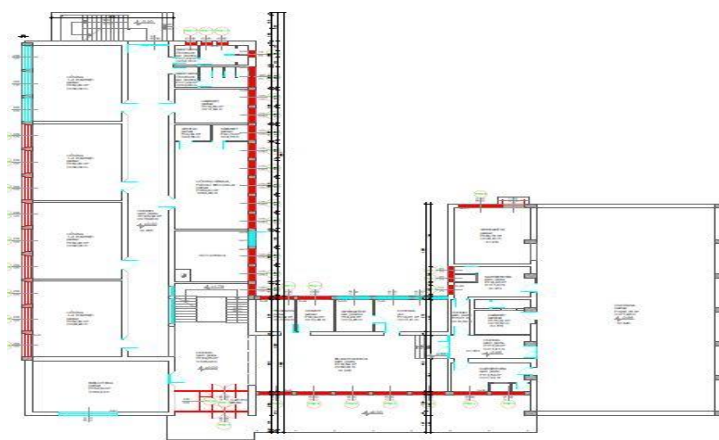


## 2. OPĆENITI OPIS GRAĐEVINE

Projektna zgrada nalazi se u Jabukovcu, u ulici Jabukovac kućnog broja 34. Građevina se sastoji od tri etaže: podruma, prizemlja i kata (Po+P+1). U podrumu je smještena kotlovnica sa sigurnosnim izlazom prema unutrašnjem dvorištu. Na prizemlju su smještene učionice namijenjene učenicima nižih razreda (1.-4.) škole, knjižnica, kuhinja, ured školske psihologinje, dvorana s garderobama te ulazni prostor s blagovaonom. Na katu se nalaze specijalizirane učionice za pojedine predmete s pripadajućim kabinetima. Na katu se također nalazi zbornica i ostali uredi školskih zaposlenika. Komunikacija kroz etaže ostvaruje se preko stubišta koje je dvokrako i smješteno neposredno nakon glavnog ulaza u školu. Ukupna korisna površina iznosi 1468 m<sup>2</sup>.



*Slika 2.1 Pogled na sjeveroistočno (ulazno) pročelje građevine*



*Slika 2.2 Tlocrt prizemlja škole*

Tablica 2.1 Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata

| Građevni element            | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] |
|-----------------------------|--------------------------|
| Vanjski zid                 | 0,16                     |
| Pod                         | 1,78                     |
| Strop                       | 0,16                     |
| Unutrašnji pregradni zidovi | 1,21                     |
|                             | 1,48                     |
|                             | 1,75                     |
| Vanjski prozori             | 1,1                      |
|                             | 1,4                      |
|                             | 2,0                      |
| Vanjska vrata               | 2,0                      |
| Unutrašnja vrata            | 2,2                      |

### 3. TOPLINSKO OPTEREĆENJE ZGRADE

#### 3.1. Metoda proračuna toplinskog opterećenja

Metoda proračuna toplinskog opterećenja zgrade definirana je normom HRN EN 12 831. Proračun se provodi u nekoliko koraka. Prvo se iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Priloga E vade podaci o vanjskoj projektnoj i srednjoj godišnjoj temperaturi. Slijedi određivanje unutarnjih projektnih temperatura za svaku grijanu prostoriju. Nakon toga određuju se toplinske karakteristike građevnih elemenata svih prostorija. Slijedeći korak je proračun transmisijских toplinskih gubitaka. Proračun je stacionaran, a svi koeficijenti transmisijских gubitaka se množe s raznim faktorima kako bi se na kraju zbrojili i pomnožili s razlikom vanjske i unutarnje projektne temperature. Izraz za izračun projektnih transmisijских gubitaka je:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [\text{W}]$$

$H_{T,ie}$  - koeficijent transmisijского gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,iue}$  - koeficijent transmisijского gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,ig}$  - koeficijent transmisijского gubitka od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$  - koeficijent transmisijского gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature [W/K]

$\vartheta_{int,i}$  - unutarnja projektna temperatura [°C]

$\vartheta_e$  - vanjska projektna temperatura [°C]

Nakon toga se proračunavaju ventilacijski toplinski gubici, a proračun se razlikuje ovisno o tome postoji li ventilacijski sustav ili ne. Volumni protok zraka se pretvara u koeficijent toplinskih gubitaka, a izraz za ventilacijske toplinske gubitke je:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i}(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \text{ [W]}$$

$H_{V,i}$  - koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka [W/K]

Slijedi proračun ukupnih projektnih toplinskih gubitaka prostorije zbrajanjem transmisijских i ventilacijskih gubitaka. Nakon toga se izračunava dodatni kapacitet za zagrijavanje prostorije u slučaju kada imamo prekid grijanja. Izraz je:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]}$$

$A_i$  - površina poda s 1/2 debljine zidova [m<sup>2</sup>]

$f_{RH}$  - korekcijski faktor [W/m<sup>2</sup>]

Završni korak u proračunu je izračunavanje ukupnog projektnog toplinskog gubitka građevine zbrajanjem toplinskih gubitaka i dodatnog kapaciteta za ponovno zagrijavanje. izraz je:

$$\Phi_{HL,i} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \text{ [W]}$$

$\sum \Phi_{T,i}$  - suma transmisijских gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija [W]

$\sum \Phi_{V,i}$  - suma ventilacijskih gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija [W]

$\sum \Phi_{RH,i}$  - suma toplina za zagrijavanje svih prostorija zbog prekida grijanja [W]

### 3.2. Proračun pomoću programskog paketa

Kako bi se ubrzao proračun toplinskog opterećenja zgrade moguće je koristiti razne programske pakete. Za potrebe ovog rada korišten je programski paket *IntegraCAD*. On proračunava toplinsko opterećenje analogno normi HRN EN 12831. Nakon unosa ulaznih parametara potrebno je učitati CAD tlocrte građevine te grafički odrediti granice prostorija.

Rezultati proračuna toplinskog opterećenja prostorije izraženi su kao:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}]$$

$\Phi_{T,i}$  - transmisijski toplinski gubici prostorije

$\Phi_{V,i}$  - ventilacijski toplinski gubici prostorije

$\Phi_{RH,i}$  - toplinski tok za zagrijavanje zbog prekida grijanja

Tablica 3.1 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija u prizemlju

| Rekapitulacija toplinskog opterećenja |                                     |                |                   |          |          |             |             |                  |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------|----------|----------|-------------|-------------|------------------|
| K1                                    | Prizemlje                           |                |                   |          |          |             |             |                  |
| Oznaka                                | Prostorija                          | $A_k$          | $\vartheta_{int}$ | $\Phi_T$ | $\Phi_V$ | $\Phi_{RH}$ | $\Phi_{HL}$ | $\Phi/A$         |
|                                       |                                     | m <sup>2</sup> | °C                | W        | W        | W           | W           | W/m <sup>2</sup> |
| P1                                    | Biblioteka                          | 54             | 20                | 1350     | 824      | 1199        | 3373        | 62               |
| P2                                    | Učionica 1.-4. razreda              | 54             | 20                | 1486     | 926      | 1188        | 3600        | 67               |
| P3                                    | Učionica 1.-4. razreda              | 54             | 20                | 984      | 926      | 1188        | 3098        | 57               |
| P4                                    | Učionica 1.-4. razreda              | 54             | 20                | 991      | 931      | 1199        | 3121        | 58               |
| P5                                    | Učionica 1.-4. razreda              | 54             | 20                | 985      | 926      | 1188        | 3099        | 57               |
| P7                                    | Učionica Fizika, Kemija i Biologija | 50             | 20                | 1647     | 896      | 1118        | 3661        | 73               |
| P8                                    | Kabinet                             | 19             | 20                | 436      | 229      | 431         | 1096        | 58               |
| P9                                    | WC-M                                | 11             | 20                | 495      | 174      | 242         | 911         | 83               |
| P10                                   | WC-Ž                                | 11             | 20                | 210      | 134      | 253         | 597         | 54               |
| P11                                   | Pedagog                             | 9              | 20                | 405      | 98       | 219         | 722         | 80               |
| P12                                   | Soba za odmor                       | 9              | 20                | 379      | 135      | 205         | 719         | 80               |
| P13                                   | Spremište                           | 9              | 20                | 269      | 178      | 204         | 651         | 72               |

|            |                             |     |    |       |      |      |              |    |
|------------|-----------------------------|-----|----|-------|------|------|--------------|----|
| <b>P14</b> | Kuhinja                     | 18  | 20 | 958   | 315  | 409  | 1682         | 93 |
| <b>P15</b> | Garderoba-Ž                 | 18  | 20 | 727   | 418  | 404  | 1549         | 86 |
| <b>P16</b> | Dvorana                     | 321 | 18 | 11183 | 6121 | 7073 | 24377        | 76 |
| <b>P17</b> | Garderoba-M                 | 17  | 20 | 797   | 409  | 387  | 1593         | 94 |
| <b>P18</b> | Hodnik                      | 15  | 15 | 444   | 0    | 336  | 780          | 52 |
| <b>P19</b> | Hodnik                      | 5   | 15 | 68    | 0    | 110  | 178          | 36 |
| <b>P20</b> | Kabinet                     | 15  | 20 | 826   | 289  | 337  | 1452         | 97 |
| <b>P21</b> | Ulazni hodnik s blagovaonom | 219 | 20 | 5972  | 3126 | 4827 | 13925        | 64 |
|            | <b>Ukupno: Prizemlje</b>    |     |    |       |      |      | <b>70184</b> |    |

Tablica 3.2 Rezultati toplinskog opterećenja prostorija na 1. katu

| <b>K2</b>     | <b>Kat 1.</b>                           |                |                   |          |          |             |               |                  |
|---------------|---|----------------|-------------------|----------|----------|-------------|---------------|------------------|
| <b>Oznaka</b> | Prostorija                              | $A_k$          | $\vartheta_{int}$ | $\Phi_T$ | $\Phi_V$ | $\Phi_{RH}$ | $\Phi_{HL}$   | $\Phi/A$         |
|               |   | m <sup>2</sup> | °C                | W        | W        | W           | W             | W/m <sup>2</sup> |
| <b>P1</b>     | Zbornica                                | 34             | 20                | 1162     | 707      | 752         | 2621          | 77               |
| <b>P2</b>     | Hodnik                                  | 16             | 15                | 516      | 268      | 355         | 1139          | 71               |
| <b>P3</b>     | Računovodstvo                           | 13             | 20                | 547      | 138      | 291         | 976           | 75               |
| <b>P4</b>     | Soba za odmor                           | 7              | 20                | 600      | 83       | 162         | 845           | 121              |
| <b>P5</b>     | Tajništvo                               | 11             | 20                | 613      | 125      | 244         | 982           | 89               |
| <b>P6</b>     | Učionica Zemljopis i Povijest           | 54             | 20                | 1751     | 931      | 1199        | 3881          | 72               |
| <b>P7</b>     | Učionica Matematika                     | 54             | 20                | 1737     | 926      | 1188        | 3851          | 71               |
| <b>P8</b>     | Učionica Hrvatski i Strani jezik        | 54             | 20                | 1727     | 926      | 1188        | 3841          | 71               |
| <b>P9</b>     | Učionica Glazbena i likovna kultura     | 54             | 20                | 2022     | 926      | 1188        | 4136          | 77               |
| <b>P10</b>    | Hodnik                                  | 100            | 15                | 2296     | 1675     | 2220        | 6191          | 62               |
| <b>P11</b>    | WC-M                                    | 11             | 20                | 612      | 174      | 242         | 1028          | 93               |
| <b>P12</b>    | WC-Ž                                    | 11             | 20                | 365      | 134      | 252         | 751           | 68               |
| <b>P13</b>    | Kabinet                                 | 12             | 20                | 409      | 233      | 267         | 909           | 76               |
| <b>P14</b>    | Kabinet                                 | 16             | 20                | 514      | 325      | 372         | 1211          | 76               |
| <b>P15</b>    | Učionica Informatika i Tehnička kultura | 67             | 20                | 2133     | 1052     | 1476        | 4661          | 70               |
| <b>P16</b>    | Kabinet                                 | 12             | 20                | 611      | 239      | 274         | 1124          | 94               |
|               | <b>Ukupno: Kat 2.</b>                   |                |                   |          |          |             | <b>38147</b>  |                  |
|               | <b>Ukupno: Zgrada</b>                   |                |                   |          |          |             | <b>108331</b> |                  |

### 3.3. Provjera programskog rješenja ručnim proračunom

Dobivena rješenja programskim paketom *IntegraCAD* provjeravaju se ručnim proračunom za jednu prostoriju kako bi se osigurala valjanost ulaznih parametara i rješenja dobivenih njome. Proračun ćemo provesti za školsku knjižnicu (P1).

#### 3.3.1. Projektni transmisijski gubici topline prostorije

Računaju se prema izrazu:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig})(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [\text{W}]$$

Tablica 3.3 Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu

| Koeficijent transmisijskih gubitaka prema vanjskom okolišu $H_{T,ie}$       |  |         |                   |                |                    |       |                              |
|---|--|---------|-------------------|----------------|--------------------|-------|------------------------------|
| Oznaka  | Građevni element   | Duljina | Širina/<br>Visina | $A_k$          | $U_k$              | $e_k$ | $A_k \cdot U_k \cdot e_k$    |
| -   | -  | m       | m                 | m <sup>2</sup> | W/m <sup>2</sup> K | -     | W/K                          |
| PR  | Prozor   | 3,9     | 1,8               | 7,02           | 1,4                | 1     | 9,83                         |
| VZ  | Vanjski zid  | 16,88   | 3,56              | 60,09          | 0,16               | 1     | 9,61                         |
| $\sum A_k \cdot U_k \cdot e_k$  |  |         |                   |                |                    |       | 19,44                        |
| Oznaka  | Vrsta toplinskog mosta                                   |         |                   | $\psi_l$       | $l_l$              | $e_l$ | $\psi_l \cdot l_l \cdot e_l$ |
| -   | -  |         |                   | W/mK           | m                  | -     | W/K                          |
| 01A   | Kut vanjskog zida  |         |                   | 0,01           | 3,56               | 1     | 0,0356                       |
| 03A   | Završetak unutarnjeg zida prema vanjskom izoliranom zidu |         |                   | 0,125          | 3,56               | 1     | 0,4450                       |
| 10A   | Horizontalni spoj pod-zid, zid-strop                     |         |                   | 0,33           | 15,11              | 1     | 4,9863                       |
| 34A   | Kut pregradnog zida                                      |         |                   | 0,035          | 7,12               | 1     | 0,2492                       |
| $\sum \psi_l \cdot l_l \cdot e_l$   |  |         |                   |                |                    |       | 5,7161                       |
| $H_{T,ie} = \sum \psi_l \cdot l_l \cdot e_l + \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k$ |  |         |                   |                |                    |       | 25,16                        |

Koeficijent transmisijskih gubitaka prema tlu  $H_{T,ig}$ :

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot A_k \cdot U_{equiv,k} \quad [\text{W/K}]$$

$f_{g1} = 1,45$  - korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature

$f_{g2} = 0,24$  - faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} = \frac{20 - 11,7}{20 - (-17)} = 0,24 \quad [-]$$

$A_k = 54 \text{ m}^2$  – površina poda

$U_{equiv,k} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$  – ekvivalentni koeficijent prolaza topline

$$H_{T,ig} = 1,45 \cdot 0,24 \cdot 54 \cdot 0,41 = 7,70 \text{ W/K}$$

$$\Phi_{T,i} = (25,16 + 7,70)(20 - (-17)) = 1215,8 \text{ W}$$

### 3.3.2. Projektni ventilacijski gubici prostorije

Računaju se prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i}(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [\text{W}]$$

Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka  $H_{V,i}$ :

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho_{zr} \cdot c_p = V_i \cdot 0,34 \quad [\text{W/K}]$$

Protok zraka u grijani prostor  $V_i$ :

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$f_{V,i} = 0,054$  - faktor smanjenja temperaturne razlike

$$f_{vi} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{su,i}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} = \frac{20 - 18}{20 - (-17)} = 0,054 \quad [-]$$

Infiltracija kroz zazor:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_p \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot e_l$$

$V_p = 166,22 \text{ m}^3$  - volumen prostorije

$n_{50} = 2,5$  - broj izmjena zraka u prostoriji (h-1) pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša

$e_i = 0,03$  - koeficijent zaštićenosti



$e_l = 1$  - korekcijski faktor za visinu

$$V_{inf,i} = 2 \cdot 166,22 \cdot 2,5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 24,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_i = 24,9 + 750 \cdot 0,054 = 65,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{V,i} = 65,4 \cdot 0,34 = 22,24 \text{ W/K}$$

$$\Phi_{V,i} = 22,24 \cdot (20 - (-17)) = 822,7 \text{ W}$$

### 3.3.3. Dodatni kapacitet zbog prekida grijanja

Računa se kao:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [\text{W}]$$

$A_i = 63,36 \text{ m}^2$  - površina poda grijanog prostora s  $\frac{1}{2}$  debljine zidova

$f_{RH} = 18 \text{ W/m}^2$  - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida

$$\Phi_{RH,i} = 63,36 \cdot 18 = 1140,4 \text{ W}$$

### 3.3.4. Ukupni toplinski gubici prostorije

Vrijedi izraz:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{HL,i} = 1215,8 + 822,7 + 1140,4 = 3178,9 \text{ W}$$

Usporedimo li rješenje dobiveno ručnim proračunom (3178,9 W) s rješenjem dobivenim programom *IntegraCAD* (3373 W) primjećujemo da je odstupanje unutar dozvoljenih granica i na strani sigurnosti te prihvaćamo podatke dobivene tim programom u daljnji proračun.

## 4. VENTILACIJSKI SUSTAV

### 4.1. Ventilacija u školama

Osnovna zadaća ventilacijskog sustava je snižavanje koncentracije zagađivača (u našem slučaju CO<sub>2</sub>) na prihvatljivu razinu. Europski standard EN 13779 dijeli kvalitetu unutarnjeg zraka (*eng.* IAQ - *indoor air quality*) na četiri kategorije: visoku, srednju umjerenu i nisku, u ovisnosti o koncentraciji CO<sub>2</sub> iznad koncentracije vanjskoga zraka. Treba napomenuti da koncentracija CO<sub>2</sub> nikako nije jedino mjerilo kvalitete zraka, razni plinovi i pare, bioareosoli, čestice prašine i sl. također značajno utječu na kvalitetu zraka.

Tablica 4.1 Kategorizacija kvalitete unutarnjeg zraka

| Kategorija | Kvaliteta zraka | CO <sub>2</sub> koncentracija iznad vanjskog zraka [ppm] |
|------------|-----------------|--|
| IDA 1      | visoka          | <400   |
| IDA 2      | srednja         | 400-600  |
| IDA 3      | umjerena        | 600-1000   |
| IDA 4      | niska           | >1000  |

Kvaliteta vanjskoga zraka je također kategorizirana po istoj normi (*eng.* ODA - *outdoor air*), te se dijeli u tri kategorije. Definirane su razine koncentracija raznih zagađivača u zraku poput CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i PM<sub>10</sub> (čestica veličine do 10 µm), a u tablici 4.2 dane su vrijednosti za CO<sub>2</sub> budući da se njime bavi u ovom radu.

Tablica 4.2 Kategorizacija kvalitete vanjskoga zraka

| Kategorija | Opis kvalitete zraka                                  | Koncentracija CO <sub>2</sub> [ppm] |
|------------|---|-------------------------------------|
| ODA 1      | Ruralna područja bez značajnih izvora CO <sub>2</sub> | 350                                 |
| ODA 2      | Manji gradovi   | 400                                 |
| ODA 3      | Gradski centar  | 450                                 |

Škole, a pogotovo školske učionice predstavljaju mjesta na kojima se okuplja velik broj osoba na relativno malom volumenu. Učenici i profesori svojim disanjem pretvaraju kisik iz zraka u ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ). Bez ili sa nedovoljnom izmjenom zraka koncentracija kisika pada, a koncentracija ugljičnog dioksida u zraku raste. Boravak u prostorima sa koncentracijom  $\text{CO}_2$  iznad 1000 ppm može izazvati tkz. „Sindrom bolesne zgrade“ (eng. *Sick Building Syndrome*) čiji su simptomi razdražljivost, umor, glavobolja, problemi s koncentracijom i slično. Mjerenja u školama u SAD-u na području savezne države Kalifornije su pokazala da maksimalne koncentracije  $\text{CO}_2$  dosežu 2200 ppm, a u školama u saveznoj državi Teksas u čak 21 % škola izmjereno je preko 3000 ppm. [3] Uz škole, ovaj sindrom je još prisutan i u uredskim prostorima. Rješenje problema je relativno jednostavno, potrebno je povećati izdašnost ventilacije. Osim izdašnosti ventilacije probleme može predstavljati i kvaliteta ventilacijskog zraka. Na kvalitetu najviše utječe odabrana filtracijska oprema te je potrebno predvidjeti odgovarajuće klase filtra. Izmjena filtra se vrši po dostizanju pada tlaka kojeg propisuje proizvođač. Međutim u praksi se često zanemaruje izmjena istog radi smanjenja pogonskih troškova što naravno utječe na kvalitetu zraka.

Ventilacija u osnovnim školama u Republici Hrvatskoj je regulirana Državnim pedagoškim standardom osnovnoškolskog sustava odgoja i obrazovanja, Člankom 24. koji govori kako se u nastavnim prostorima moraju osigurati četiri izmjene zraka na sat uz najveću brzinu strujanja zraka od 0,2 m/s ili 25-30 m<sup>3</sup> zraka/h po učeniku. Uvjet od četiri izmjene zraka na sat kao proračunski podatak bi trebalo koristiti ukoliko nam nije poznat broj učenika u prostoriji. Pogodnije je sustav dimenzionirati prema zahtjevu od 25-30 m<sup>3</sup> zraka/h po učeniku, iako neke specijalizirane učionice poput kemijskih kabineta, dvorana i sl. mogu zahtijevati i izdašniju ventilaciju ukoliko je to potrebno.

## 4.2. Protok zraka

Za potrebe ventilacije učionica i uredskih prostora odabran je volumni protok od  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  po osobi. Ulazni hodnik sa blagovaonom kao i kuhinja imaju konstanti protok zraka. Sanitarni prostori su proračunati po ACH (*eng. air changes per hour*) uvjetu - odabrane su 3 izmjene volumena prostorija na sat. Nadalje, sanitarni prostori izvode se u posebnom sustavu te se ugrađuje samo povratni vod kako bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa, a prestrujavanje zraka osigurava se ugradnjom aluminijskih rešetki na vrata. U tablici 4.1 dane su vrijednosti volumnih protoka dobavnog i povratnoga zraka.

Tablica 4.3 Volumni protoci po prostorijama

| Volumni protoci |  |                           |                           |        |  |                           |                           |
|-----------------|--|---------------------------|---------------------------|--------|--|---------------------------|---------------------------|
| K1              | Prizemlje                                    |                           |                           | K2     | Kat 1.                                 |                           |                           |
| Oznaka          | Prostorija                                   | $q_{V,d}$                 | $q_{V,p}$                 | Oznaka | Prostorija                             | $q_{V,d}$                 | $q_{V,p}$                 |
|                 |  | [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] | [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] |        |  | [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] | [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] |
| P1              | Biblioteka                                   | 750                       | 750                       | P1     | Zbornica                               | 750                       | 750                       |
| P2              | Učionica 1.-4. razreda                       | 600                       | 600                       | P2     | Hodnik                                 | 0                         | 0                         |
| P3              | Učionica 1.-4. razreda                       | 600                       | 600                       | P3     | Računovodstvo                          | 90                        | 90                        |
| P4              | Učionica 1.-4. razreda                       | 600                       | 600                       | P4     | Soba za odmor                          | 0                         | 0                         |
| P5              | Učionica 1.-4. razreda                       | 600                       | 600                       | P5     | Tajništvo                              | 90                        | 90                        |
| P6              | Kotlovnica                                   | 0                         | 0                         | P6     | Učionica<br>Zemljopis i<br>Povijest    | 600                       | 600                       |
| P7              | Učionica<br>Fizika,<br>Kemija i<br>Biologija | 600                       | 600                       | P7     | Učionica<br>Matematika                 | 600                       | 600                       |
| P8              | Kabinet                                      | 60                        | 60                        | P8     | Učionica<br>Hrvatski i<br>Strani jezik | 600                       | 600                       |

|     |                                    |      |      |     |  |     |     |
|-----|------------------------------------|------|------|-----|--|-----|-----|
| P9  | WC-M                               | 0    | 100  | P9  | Učionica<br>Glazbena i<br>likovna kultura        | 600 | 600 |
| P10 | WC-Ž                               | 0    | 100  | P10 | Hodnik   | 0   | 0   |
| P11 | Pedagog                            | 60   | 60   | P11 | WC-M   | 0   | 100 |
| P12 | Soba za<br>odmor                   | 0    | 0    | P12 | WC-Ž   | 0   | 100 |
| P13 | Spremište                          | 0    | 0    | P13 | Kabinet  | 60  | 60  |
| P14 | Kuhinja                            | 200  | 200  | P14 | Kabinet  | 60  | 60  |
| P15 | Garderoba-Ž                        | 300  | 300  | P15 | Učionica<br>Informatika i<br>Tehnička<br>kultura | 600 | 600 |
| P16 | Dvorana                            | 1500 | 1500 | P16 | Kabinet  | 0   | 0   |
| P17 | Garderoba-M                        | 300  | 300  |     |  |     |     |
| P18 | Hodnik                             | 0    | 0    |     |  |     |     |
| P19 | Hodnik                             | 0    | 0    |     |  |     |     |
| P20 | Kabinet                            | 60   | 60   |     |  |     |     |
| P21 | Ulazni<br>hodnik sa<br>blagovaonom | 1500 | 1500 |     |  |     |     |

### 4.3. Elementi distribucije zraka

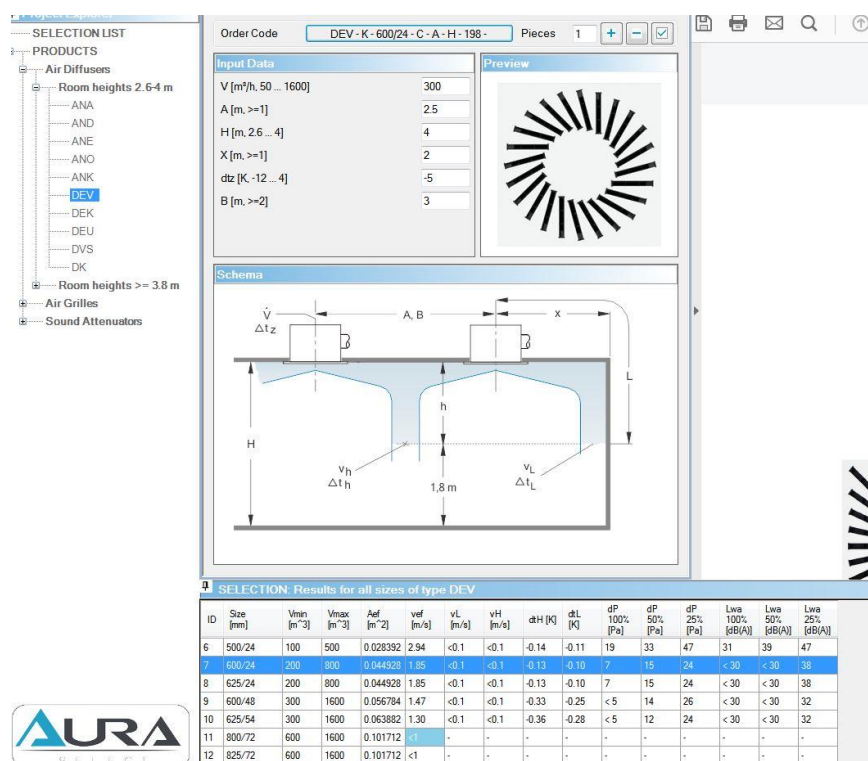
Odabir se vrši pomoću kataloga [3] proizvođača *Klimaopreme*, a računalni program *AURA select* istog proizvođača nam daje radne parametre glede pada tlaka i razine zvučne snage distributora pri projektnim protocima. Odabrani su stropni distributeri DEV dimenzionirani prema potrebama prostorije. Dvorana radi svoje visine ( $h = 7$  m) zahtjeva posebne distributere te se za nju odabiru distributeri s vertikalnim istrujavanjem tipa DHV.



Slika 4.1 Distributer zraka DEV



Slika 4.2 Distributer zraka DHV



Slika 4.3 Korisničko sučelje programa AURA

Za odsis zraka iz prostorija prema ventilacijskim jedinicama odabiru se ventilacijske rešetke tipa OAB koje se zidno ugrađuju u ventilirane prostore, dok se za odsis zraka iz dvorane i blagovaone ugrađuju CCV rešetke koje se ugrađuju bočno na ventilacijske kanale. Tvrtka *Klimaoprema* nudi specijalne zračne ventile tipa ZOV koje koristimo za odsis zraka iz sanitarnih prostora škole.



Slika 4.4 Rešetka CCV predviđena za bočnu ugradnju na kanal



*Slika 4.5 Rešetka OAB namijenjena za zidnu ugradnju*



*Slika 4.6 Zračni ventil ZOV konstruiran za sanitarne prostore*

#### **4.4. Regulacija protoka zraka ventilacije**

Školu smo podijelili na dvije regulacijske zone s pogleda ventilacije. U prvoj zoni su prostorije koje kroz dan imaju kontinuiranu promjenu glede ventilacijskog zahtjeva poput učionica, zbornice, blagovaone itd. Česta promjena broja ljudi koji borave unutar prostora uzrokuje porast ili pad zagađivača unutar prostora (primarno CO<sub>2</sub>). Kako bi povećali efikasnost ventilacijskog sustava pri nižim potrebama za ventilacijom ugrađuju se regulatori varijabilnog protoka. Za pravilan rad potreban je osjetnik CO<sub>2</sub> koncentracije unutar reguliranog prostora koji se povezuje s regulatorom te mu zadani *set-point* služi kao regulacijska veličina. Regulator upravlja kutom nagiba zaklopke unutar VAV elementa mijenjajući tako protok dobavnog odnosno povratnog zraka. Odabrani su regulatori RVP-C proizvođača *Klimaopreme*.



Slika 4.7 Regulator varijabilnog protoka RVP-C

Unutar druge zone nalazi se sportska dvorana s pripadajućim svlačionicama. Zbog specifične namjene ovog prostora odabire se sustav s konstantnim protokom zraka – sustav se pali prilikom korištenja dvorane, a po završetku nastave sustav se gasi. Očekuje se približno konstantan broj korisnika tijekom korištenja. Zajednički parametar obje zone je temperatura dobavnog zraka koja iznosi 18 °C.

#### 4.5. Dimenzioniranje kanala

Odabrani su okrugli kanali za sustav ventilacije. Oni nude bolja hidraulička svojstva u odnosu na standardne pravokutne kanale što se očituje u manjem otporu strujanja zraka, krući su i čvršći te imaju bitno manje propuštanje zraka. Kanali su dimenzionirani metodom konstantne brzine, početna brzina od 7 m/s se postepeno snižava prema distribucijskim elementima. Koeficijent trenja  $\lambda$  računat je prema *Sylvesterovoj* jednadžbi [4]:

$$\lambda = \left( -2 \cdot \lg \left( \frac{\varepsilon}{3,7} - \frac{5,02}{Re} \cdot \lg \left( \frac{\varepsilon}{3,77} - \frac{5,02}{Re} \cdot \lg \left( \frac{\varepsilon}{3,77} + \frac{13}{Re} \right) \right) \right) \right)^{-2}$$

Ulazni podaci:

- $\rho_{zr} = 1,2 \text{ kg/m}^3$  - gustoća zraka
- $k = 0,09 \text{ mm}$  - apsolutna hrapavost kanala



- $\eta_{zr} = 1,71 \cdot 10^{-5}$  - dinamička viskoznost zraka
- $\varepsilon = \frac{k}{d_u}$  - relativna hrapavost kanala
- $Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu}$  - Reynoldsov broj

U nastavku slijedi tablica s rezultatima:

Tablica 4.4 Dimenzioniranje kanala

|                  | Br. | q <sub>v</sub>    | DN ili axb | d <sub>u</sub> ili d <sub>ekv</sub> | w     | ε        | Re       | λ     | R    |
|------------------|-----|-------------------|------------|-------------------------------------|-------|----------|----------|-------|------|
|                  | -   | m <sup>3</sup> /h | mm         | mm                                  | m/s   | -        | -        | -     | Pa/m |
| <b>Prizemlje</b> | 1   | 5570              | 600x600    | 656                                 | 4,298 | 1,37E-04 | 1,98E+05 | 0,017 | 0,28 |
|                  | 2   | 3810              | 450        | 448,8                               | 6,690 | 2,01E-04 | 2,11E+05 | 0,017 | 1,02 |
|                  | 3   | 750               | 250        | 249                                 | 4,278 | 3,61E-04 | 7,48E+04 | 0,021 | 0,91 |
|                  | 4   | 3060              | 450        | 448,8                               | 5,373 | 2,01E-04 | 1,69E+05 | 0,018 | 0,68 |
|                  | 5   | 600               | 250        | 249                                 | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                  | 6   | 2460              | 400        | 398,8                               | 5,471 | 2,26E-04 | 1,53E+05 | 0,018 | 0,81 |
|                  | 7   | 600               | 250        | 249                                 | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                  | 8   | 1860              | 355        | 353,8                               | 5,255 | 2,54E-04 | 1,30E+05 | 0,018 | 0,87 |
|                  | 9   | 600               | 250        | 249                                 | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                  | 10  | 1260              | 300        | 299                                 | 4,985 | 3,01E-04 | 1,05E+05 | 0,019 | 0,96 |
|                  | 11  | 600               | 250        | 249                                 | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                  | 12  | 660               | 250        | 249                                 | 3,765 | 3,61E-04 | 6,58E+04 | 0,021 | 0,72 |
|                  | 13  | 600               | 250        | 249                                 | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                  | 14  | 1760              | 355        | 353,8                               | 4,973 | 2,54E-04 | 1,23E+05 | 0,019 | 0,78 |
|                  | 15  | 1700              | 355        | 353,8                               | 4,803 | 2,54E-04 | 1,19E+05 | 0,019 | 0,73 |
|                  | 16  | 1500              | 355        | 353,8                               | 4,238 | 2,54E-04 | 1,05E+05 | 0,019 | 0,58 |
|                  | 17  | 750               | 250        | 249                                 | 4,278 | 3,61E-04 | 7,48E+04 | 0,021 | 0,91 |
|                  | 18  | 950               | 300        | 299                                 | 3,758 | 3,01E-04 | 7,89E+04 | 0,020 | 0,57 |

|                   |    |      |         |       |       |          |          |       |      |
|-------------------|----|------|---------|-------|-------|----------|----------|-------|------|
| <b>Prvi kat</b>   | 19 | 4050 | 450     | 448,8 | 7,111 | 2,01E-04 | 2,24E+05 | 0,017 | 1,14 |
|                   | 20 | 930  | 250     | 249   | 5,305 | 3,61E-04 | 9,27E+04 | 0,020 | 1,35 |
|                   | 21 | 840  | 250     | 249   | 4,792 | 3,61E-04 | 8,37E+04 | 0,020 | 1,12 |
|                   | 22 | 750  | 250     | 249   | 4,278 | 3,61E-04 | 7,48E+04 | 0,021 | 0,91 |
|                   | 23 | 3120 | 400     | 398,8 | 6,938 | 2,26E-04 | 1,94E+05 | 0,017 | 1,26 |
|                   | 24 | 600  | 250     | 249   | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                   | 25 | 2520 | 400     | 398,8 | 5,604 | 2,26E-04 | 1,57E+05 | 0,018 | 0,84 |
|                   | 26 | 600  | 200     | 199   | 5,359 | 4,52E-04 | 7,48E+04 | 0,021 | 1,82 |
|                   | 27 | 1920 | 355     | 353,8 | 5,425 | 2,54E-04 | 1,35E+05 | 0,018 | 0,92 |
|                   | 28 | 600  | 250     | 249   | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                   | 29 | 1320 | 300     | 299   | 5,222 | 3,01E-04 | 1,10E+05 | 0,019 | 1,05 |
|                   | 30 | 600  | 250     | 249   | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                   | 31 | 720  | 250     | 249   | 4,107 | 3,61E-04 | 7,18E+04 | 0,021 | 0,84 |
|                   | 32 | 660  | 250     | 249   | 3,765 | 0,00036  | 65788,42 | 0,021 | 0,72 |
|                   | 33 | 600  | 250     | 249   | 3,423 | 0,00036  | 59812,42 | 0,021 | 0,61 |
| <b>Dvorana</b>    | 34 | 2160 | 400x400 | 437   | 4,775 | 2,25E-04 | 1,34E+05 | 0,018 | 0,62 |
|                   | 35 | 2160 | 355     | 353,8 | 6,103 | 2,54E-04 | 1,52E+05 | 0,018 | 1,14 |
|                   | 36 | 750  | 250     | 249   | 4,278 | 3,61E-04 | 7,48E+04 | 0,021 | 0,91 |
|                   | 37 | 600  | 250     | 249   | 3,423 | 3,61E-04 | 5,98E+04 | 0,021 | 0,61 |
|                   | 38 | 750  | 250     | 249   | 4,278 | 0,00036  | 74752,42 | 0,021 | 0,91 |
|                   | 39 | 810  | 250     | 249   | 4,621 | 0,00036  | 80745,89 | 0,020 | 1,05 |
|                   | 40 | 750  | 250     | 249   | 4,278 | 0,00036  | 74752,42 | 0,021 | 0,91 |
| <b>Sanitarije</b> | 41 | 200  | 125     | 124,1 | 4,593 | 7,25E-04 | 4,00E+04 | 0,024 | 2,46 |
|                   | 42 | 100  | 125     | 124,1 | 2,296 | 0,00073  | 2,00E+04 | 0,027 | 0,70 |

#### 4.6. Proračun kritičnih dionica

Kritična dionica ventilacijskog sustava je ona s najvećim padom tlaka u sustavu. Pad tlaka na ovoj dionici je ulazni parametar pri proračunu i odabiru ventilatora za sustav. Pad tlaka se sastoji od linijskog pada tlaka računanog izrazom

$$R = \Delta p_F = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

te od lokalnih gubitaka koji se računaju kao

$$Z = \Delta p_L = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Rezultati su dani tablično u nastavku:

Tablica 4.5 Kritične dionice glavne ventilacijske jedinice

|                       | Br.   | L   | $q_v$             | DN/axb  | $d_u/d_{ekv}$ | w     | R    | $\sum \zeta$ | Z     | R·L+Z |
|-----------------------|---|-----|-------------------|---------|---------------|-------|------|--------------|-------|-------|
|                       | -   | m   | m <sup>3</sup> /h | mm      | mm            | m/s   | Pa/m | -            | Pa    | Pa    |
| <b>Dobavni kanal</b>  | 1   | 2   | 5570              | 600x600 | 656           | 5,472 | 0,49 | 0,7          | 12,58 | 13,56 |
|                       | 2   | 6,7 | 3810              | 450     | 448,8         | 6,69  | 1,02 | 0,83         | 22,29 | 29,12 |
|                       | 3   | 4,3 | 3060              | 450     | 448,8         | 5,373 | 0,68 | 0,42         | 7,28  | 10,2  |
|                       | 4   | 9,2 | 2460              | 400     | 398,8         | 5,471 | 0,81 | 0,53         | 9,52  | 16,97 |
|                       | 5   | 6,6 | 1860              | 355     | 353,8         | 5,255 | 0,87 | 0,37         | 6,13  | 11,87 |
|                       | 6   | 2,6 | 1260              | 300     | 299           | 4,985 | 0,96 | 0,42         | 6,26  | 8,76  |
|                       | 7   | 8,3 | 660               | 250     | 249           | 3,765 | 0,72 | 0,65         | 5,53  | 11,51 |
|                       | 8   | 5,4 | 600               | 250     | 249           | 3,423 | 0,61 | 0,68         | 4,78  | 8,07  |
|                       | 9   | 1   | 300               | 200     | 199           | 2,679 | 0,51 | 2,03         | 8,74  | 9,25  |
|                       | Pad tlaka na distribucijskom elementu i RVP-u : |     |                   |         |               |       |      |              |       | 153   |
|                       | Σ   |     |                   |         |               |       |      |              |       | 272   |
| <b>Povratni kanal</b> | 1   | 9,6 | 600               | 200     | 199           | 5,359 | 1,82 | 0,42         | 7,24  | 24,71 |
|                       | 2   | 2,1 | 660               | 250     | 249           | 3,765 | 0,72 | 0,83         | 7,06  | 8,57  |
|                       | 3   | 1,9 | 1260              | 300     | 299           | 4,985 | 0,96 | 0,8          | 11,93 | 13,75 |
|                       | 4   | 6,6 | 1860              | 355     | 353,8         | 5,255 | 0,87 | 0,38         | 6,3   | 12,04 |
|                       | 5   | 9,3 | 2460              | 400     | 398,8         | 5,471 | 0,81 | 0,52         | 9,34  | 16,87 |
|                       | 6   | 7,7 | 3060              | 450     | 448,8         | 5,373 | 0,68 | 0,45         | 7,79  | 13,03 |
|                       | 7   | 5,3 | 3810              | 450     | 448,8         | 6,69  | 1,02 | 0,6          | 16,11 | 21,52 |
|                       | 8   | 2,0 | 5570              | 600x600 | 656           | 5,472 | 0,49 | 0,7          | 12,58 | 13,56 |
|                       | Pad tlaka na odsisnom elementu i RVP-u :        |     |                   |         |               |       |      |              |       | 139   |
|                       | Σ   |     |                   |         |               |       |      |              |       | 263   |

Tablica 4.6 Kritične dionice dvoranske ventilacijske jedinice

|                       | Br.                                    | L    | $q_v$             | DN/axb  | $d_u/d_{ekv}$ | w     | R    | $\sum \zeta$ | Z     | R·L+Z |
|-----------------------|--|------|-------------------|---------|---------------|-------|------|--------------|-------|-------|
|                       | -                                      | m    | m <sup>3</sup> /h | mm      | mm            | m/s   | Pa/m | -            | Pa    | Pa    |
| <b>Dobavni kanal</b>  | 1                                      | 3    | 2160              | 400x400 | 437           | 4,775 | 0,62 | 1,3          | 17,78 | 19,64 |
|                       | 2                                      | 2,6  | 2160              | 355     | 353,8         | 6,103 | 1,14 | 0,95         | 21,23 | 24,19 |
|                       | 3                                      | 0,9  | 1410              | 355     | 353,8         | 3,984 | 0,52 | 0,82         | 7,81  | 8,28  |
|                       | 4                                      | 1,7  | 810               | 250     | 249           | 4,621 | 1,05 | 1,42         | 18,19 | 19,98 |
|                       | 5                                      | 15,2 | 750               | 250     | 249           | 4,278 | 0,91 | 1,23         | 13,51 | 27,34 |
|                       | 6                                      | 2,4  | 375               | 180     | 179           | 4,139 | 1,29 | 0,83         | 8,53  | 11,63 |
|                       | Pad tlaka na distribucijskom elementu: |      |                   |         |               |       |      |              |       | 60    |
|                       | $\Sigma$                               |      |                   |         |               |       |      |              |       | 171   |
| <b>Povratni kanal</b> | 1                                      | 13,6 | 750               | 250     | 249           | 4,278 | 0,91 | 0,83         | 9,11  | 21,49 |
|                       | 2                                      | 1,4  | 810               | 250     | 249           | 4,621 | 1,05 | 0,85         | 10,89 | 12,36 |
|                       | 3                                      | 2,5  | 1410              | 355     | 353,8         | 3,984 | 0,52 | 0,65         | 6,19  | 7,49  |
|                       | 4                                      | 2,6  | 2160              | 355     | 353,8         | 6,103 | 1,14 | 1,72         | 38,44 | 41,4  |
|                       | 5                                      | 3    | 2160              | 400x400 | 437           | 4,775 | 0,62 | 1,3          | 17,78 | 19,64 |
|                       | Pad tlaka na odsisnom elementu:        |      |                   |         |               |       |      |              |       | 14    |
|                       | $\Sigma$                               |      |                   |         |               |       |      |              |       | 145   |

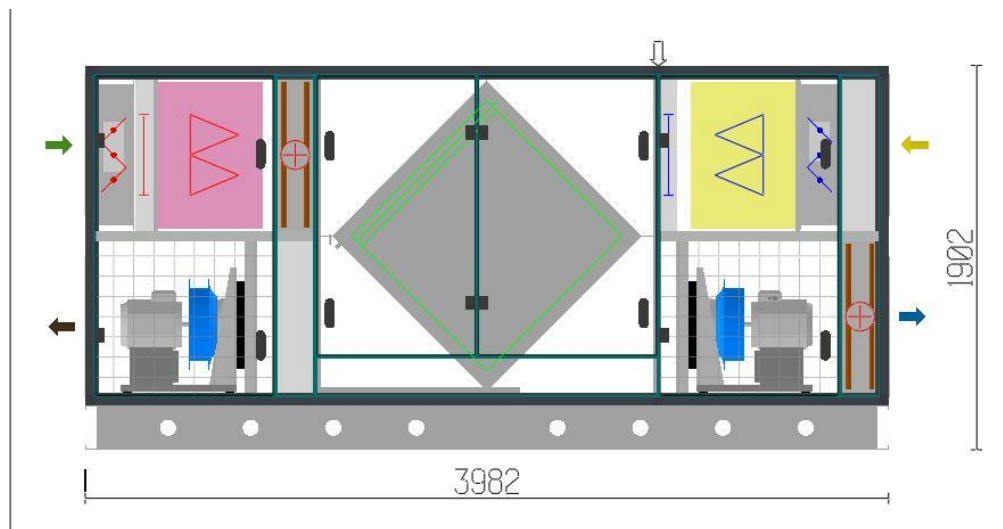
Tablica 4.7 Pad tlaka u sanitarnom odsisu

|                       | Br.                               | L   | $q_v$             | DN/axb | $d_u/d_{ekv}$ | w     | R    | $\sum \zeta$ | Z    | R·L+Z |
|-----------------------|-----------------------------------|-----|-------------------|--------|---------------|-------|------|--------------|------|-------|
|                       | -                                 | m   | m <sup>3</sup> /h | mm     | mm            | m/s   | Pa/m | -            | Pa   | Pa    |
| <b>Povratni kanal</b> | 1                                 | 1,2 | 50                | 125    | 124,1         | 1,148 | 0,2  | 1,2          | 0,95 | 1,19  |
|                       | 2                                 | 1,5 | 100               | 125    | 124,1         | 2,296 | 0,7  | 1,8          | 5,69 | 6,74  |
|                       | 3                                 | 1,1 | 200               | 125    | 124,1         | 4,593 | 2,46 | 0,42         | 5,32 | 8,03  |
|                       | Pad tlaka na odsisnom elementu:   |     |                   |        |               |       |      |              |      | 13    |
|                       | Pad tlaka na nepovratnoj zaklopki |     |                   |        |               |       |      |              |      | 6     |
|                       | $\Sigma$                          |     |                   |        |               |       |      |              |      | 35    |

#### 4.7. Dimenzioniranje ventilacijskih jedinica

Zadnji dio proračuna i dimenzioniranja sustava ventilacije je dimenzioniranje vanjskih ventilacijskih jedinica. Jedinice će biti smještene na armirano betonskom krovu iznad blagovaonice, te je potrebno osigurati izolaciju kao i vanjsku zaštitu jedinica. Obje jedinice će imati iste procese obrade vanjskog zraka. Ugrađen je predgrijač koji ima primarno zaštitnu ulogu. Pri niskim vanjskim temperaturama blizu projektnim postoji mogućnost smrzavanja povratne struje zraka unutar pločastog rekuperatora. Odabire se izlazna temperatura zraka od  $-8^{\circ}\text{C}$  kako ne bi došlo do ove pojave. U sustav se još ugrađuje pločasti rekuperator topline koji osigurava povrat topline iz povratne struje zraka, te grijač koji dogrijava struju zraka na stanje ubacivanja od  $18^{\circ}\text{C}$ . Za dimenzioniranje sustava koristi se programski paket *SystemAirCAD* [5].

#### 4.7.1. Glavna ventilacijska jedinica



Slika 4.8 Glavna ventilacijska jedinica

Genoix Comfort 16RDL

Tehničke karakteristike sustava:

Volumni protok dobavne struje: 9620 m<sup>3</sup>/h

Volumni protok povratne struje: 9620 m<sup>3</sup>/h

Klasa filtera dobavne struje: F7

Klasa filtera povratne struje: G4

Vanjske dimenzije: 1682x3982x1902 mm

*Predgrijač*

- Temperatura ulaznoga zraka: -17 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: -8 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 29,2 kW
- Nastrujna brzina: 2,6 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 14,5 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 25,5 kPa

*Pločasti rekuperator*

- Ulazna temperatura dobavne struje: -8 °C
- Izlazna temperatura dobavne struje: 13,6 °C
- Ulazna temperatura povratne struje: 20 °C
- Izlazna temperatura povratne struje: 2,2 °C
- Stupanj povrata topline: 73,5 %
- Toplinski učinak: 70 kW
- Pad tlaka na strani dobavne struje: 387,5 Pa
- Pad tlaka na strani povratne struje: 379,9 Pa

*Grijač*

- Temperatura ulaznoga zraka: 13,6 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: 18 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 14,3 kW
- Nastrujna brzina: 2,6 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 14,5 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 6,9 kPa

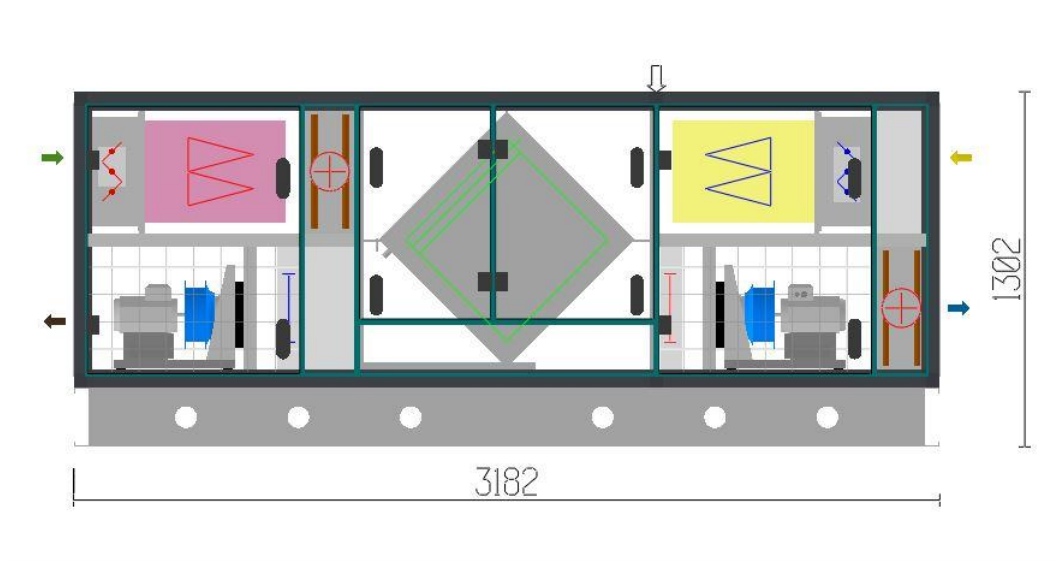
*Odsisni ventilator*

- Ukupni pad tlaka: 952 Pa
- Učinkovitost: 78,5 %
- Snaga: 3,26 kW

*Dobavni ventilator:*

- Ukupni pad tlaka: 1094 Pa
- Učinkovitost: 79,8 %
- Snaga: 3,69 kW

#### 4.7.2. Dvoranska ventilacijska jedinica



Slika 4.9 Dvoranska ventilacijska jedinica

Genoix Comfort 10RDL

Tehničke karakteristike sustava:

Volumni protok dobavne struje: 2160 m<sup>3</sup>/h

Volumni protok povratne struje: 2160 m<sup>3</sup>/h

Klasa filtera dobavne struje: F7

Klasa filtera povratne struje: G4

Vanjske dimenzije: 1082x3182x1302 mm

*Predgrijač*

- Temperatura ulaznoga zraka: -17 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: -8 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 6,5 kW
- Nastrujna brzina: 1,7 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 7,3 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 6,8 kPa



*Pločasti rekuperator*

- Ulazna temperatura dobavne struje: -8 °C
- Izlazna temperatura dobavne struje: 12,6 °C
- Ulazna temperatura povratne struje: 18 °C
- Izlazna temperatura povratne struje: 0,6 °C
- Stupanj povrata topline: 75,3 %
- Toplinski učinak: 14,9 kW
- Pad tlaka na strani dobavne struje: 185,8 Pa
- Pad tlaka na strani povratne struje: 182,2 Pa

*Grijač*

- Temperatura ulaznoga zraka: 12,6 °C
- Temperatura izlaznoga zraka: 18 °C
- Temperaturni režim: 70/60 °C
- Toplinski kapacitet: 3,9 kW
- Nastrujna brzina: 1,7 m/s
- Pad tlaka na strani zraka: 7,3 Pa
- Pad tlaka na strani vode: 2,7 kPa

*Odsisni ventilator*

- Ukupni pad tlaka: 572 Pa
- Učinkovitost: 74,5 %
- Snaga: 0,46 kW

*Dobavni ventilator:*

- Ukupni pad tlaka: 707 Pa
- Učinkovitost: 76,3 %
- Snaga: 0,56 kW

#### 4.8. Odabir opreme ventilacijskog sustava sanitarnih prostora

Ventilacijski sustav sanitarnih prostora škole izvodi se odsisom zraka iz prostora u vanjski okoliš. Sustav se spaja na elektroprekidač rasvjete sanitarija te se uključuje po korištenju ili po potrebi. Odsis se vrši na svakoj etaži, te se u sustav ugrađuje nepovratna zaklopka ZPC proizvođača *Klimaopreme*. Ventilator sustava je odabran kao RK 125 plastični cijevni ventilator, maksimalne snage 70 W dostatne za potrebe sanitarija. Na vrata se ugrađuje aluminijska rešetka kako bi se osiguralo strujanje zraka iz okolnih prostora za vrijeme rada ventilatora.



Slika 4.10 Kanalni ventilator RK 125



Slika 4.11 Nepovratna zaklopka ZPC

## 4.9. Analiza akustike unutar učionice

### 4.9.1. Osnove akustike

Akustika je znanost koja proučava nastajanje i širenje zvuka i zvučnih valova. Do nastajanja zvuka dolazi pri vibraciji nekog tijela, a ljudsko uho raspoznaje te vibracije pri frekvencijama od 16 Hz do 20 000 Hz. Pri akustičkim proračunima u području termotehnike obično se uzima raspon frekvencija od 63 Hz do 8000 Hz.

Zvučna snaga se definira kao energija koju izvor zvuka emitira u u prostor oko sebe u svim smjerovima, a mjeri se u Wattima (W). Razina čujnosti za ljudsko uho iznosi  $1 \cdot 10^{-12}$  W te se po njoj definira referentna razina zvučne snage  $W_0$ . Razina zvučne snage se definira kao:

$$L_W = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad [\text{dB}]$$

gdje je  $W$  snaga zvučnog izvora u Wattima. To je podatak kojeg proizvođač definira po frekvencijama ili za cjelokupni spektar za svoj dio opreme te je on ulazni parametar u akustičkom proračunu.

Zvučni tlak je mjera poremećaja atmosferskog tlaka uzrokovanog zvučnim valom. Mjeri se u Paskalima (Pa), a normirana je i referentna vrijednost  $p_0$  od  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa koja definira donju granicu čujnosti ljudskoga uha. Razina zvučnog tlaka definirana je s:

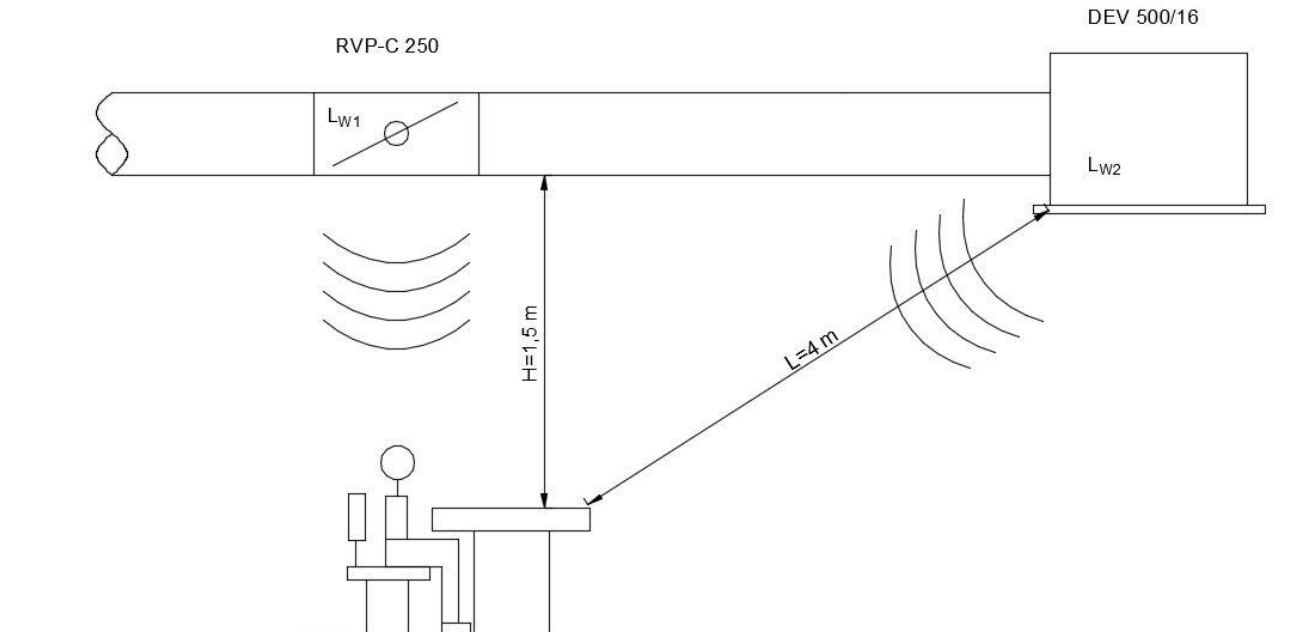
$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad [\text{dB}]$$

gdje je  $p$  poremećaj tlaka u paskalima (Pa). Kako se odmičemo od izvora buke razine zvučne snage  $L_W$  tako opadaju vrijednosti zvučnoga tlaka i razine zvučnoga tlaka, što dovodi do zaključka da je zvučni tlak funkcija prostorne koordinate te se premještanjem izvora buke  $L_W$  utječe na razinu zvučnoga tlaka u pojedinoj točki prostora.

### 4.9.2. Akustički proračun učionice

Unutar učionice postoje dva izvora buke sustava ventilacije: regulator varijabilnog protoka i zračni distribucijski element (difuzor). Iz kataloga proizvođača očitane su razine zvučne snage

regulatora varijabilnog protoka  $L_{W1}$  dane za svaku frekvenciju dok je razina zvučne snage difuzora  $L_{W2}$  dana za cijeli spektar frekvencija te iznosi 45 dB.



Slika 4.12 Shema kritičnog mjesta za akustički proračun

Najprije je potrebno izračunati razinu zvučne snage difuzora za svaku frekvenciju preko izraza:

$$L_{W,f} = L_{W2} + \Delta L_W$$

Tablica 4.8 Proračun razine zvučne snage po frekvencijama

| $f_m$ | $L_{W2}$ | $\Delta L_W$ | $L_{W,f}$ |
|-------|----------|--------------|-----------|
| Hz    | dB       | dB           | dB        |
| 63    | 45       | -8           | 37        |
| 125   | 45       | -7           | 38        |
| 250   | 45       | -7           | 38        |
| 500   | 45       | -8           | 37        |
| 1000  | 45       | -10          | 35        |
| 2000  | 45       | -17          | 28        |
| 4000  | 45       | -26          | 19        |
| 8000  | 45       | -35          | 10        |

Proračun se vrši kontrolom vrijednosti razine zvučnog tlaka za učeničkim stolom definiranim slikom 4.12. Najprije je potrebno odrediti vrijednosti razine zvučnoga tlaka za svaki izvor posebno. Vrijednost razine zvučnoga tlaka se računa prema izrazu:

$$L_p = L_W - 20 \cdot \log(r) - 11 \quad [\text{dB(A)}]$$

gdje je  $r$  udaljenost mjesta računanja razine zvučnog tlaka od izvora buke.

Za svaku frekvenciju se logaritamski zbrajaju razine zvučnoga tlaka regulatora varijabilnog protoka i difuzora prema izrazu:

$$L_{p1+2} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^2 10^{0,1 \cdot L_{pi}}$$

Zatim je izvršena korekcija razina zvučnoga tlaka po frekvencijama prema korekcijskoj krivulji A definiranoj normom IEC/179(1973) [7] kako bi se one prilagodile subjektivnom percipiranju ljudskoga uha. Ljudi različite razine zvučnoga tlaka pri različitim frekvencijama ne percipiraju jednako te su više razine buke pri određenim frekvencijama akustički neugodnije ljudima. Zadnji korak u proračunu je logaritamsko zbrajanje razina zvučnog tlaka po svim frekvencijama što nam daje ukupnu razinu zvučnoga tlaka  $L_{pA}$  koja predstavlja ultimativni kriterij akustičke ugodnosti.

Tablica 4.9 Proračun ukupne razine zvučnoga tlaka

| $f_m$    | $L_{W1}$ | $L_{W2}$ | $L_{p1}$ | $L_{p2}$ | $L_{p1+2}$ | $A$   | $L_{pA}$  |
|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------|-----------|
| Hz       | dB       | dB       | dB       | dB       | dB         | dB    | dB(A)     |
| 63       | 53       | 37       | 38,48    | 13,96    | 38,50      | -26,2 | 12,30     |
| 125      | 49       | 38       | 34,48    | 14,96    | 34,53      | -16,1 | 18,43     |
| 250      | 47       | 38       | 32,48    | 14,96    | 32,56      | -8,6  | 23,96     |
| 500      | 45       | 37       | 30,48    | 13,96    | 30,58      | -3,2  | 27,38     |
| 1000     | 44       | 35       | 29,48    | 11,96    | 29,56      | 0     | 29,56     |
| 2000     | 41       | 28       | 26,48    | 4,96     | 26,51      | 1,2   | 27,71     |
| 4000     | 39       | 19       | 24,48    | -4,04    | 24,49      | 1     | 25,49     |
| 8000     | 38       | 10       | 23,48    | -13,04   | 23,48      | -1,1  | 22,38     |
| $L_{pA}$ |          |          |          |          |            |       | <b>35</b> |

Ukupna razina zvučnog tlaka od 35 dB(A) ispod je preporučene vrijednosti za učionice koja iznosi 40 dB(A) te nije potrebno ugrađivati dodatnu zvučnu izolaciju u sustav.

## 5. SUSTAV GRIJANJA I POTROŠNE TOPLE VODE

### 5.1. Odabir ogrjevnih tijela

Za ogrjevna tijela sustava odabrani su ventilokonvektori Helioterm Inverter proizvođača *Riello* [6] ukupne toplinske snage 126,05 kW. Temperaturni režim ventilokonvektora je 70/60 °C. Regulacija ventilokonvektora se vrši lokalno po prostorijama o čemu će biti govora kasnije. U nastavku slijedi tablica s popisom ogrjevnih tijela po prostorijama.

Tablica 5.1 Popis ogrjevnih tijela po prostorijama

| Ogrjevna tijela po prostorijama |                                     |                     |                  |        |                                     |                     |                  |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|--------|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| K1                              | Prizemlje                           |                     |                  | K2     | Kat 1.                              |                     |                  |
| Oznaka                          | Prostorija                          | Broj i vrsta tijela | $\Phi_{ot}$ [kW] | Oznaka | Prostorija                          | Broj i vrsta tijela | $\Phi_{ot}$ [kW] |
| P1                              | Biblioteka                          | Inverter 21         | 3,99             | P1     | Zbornica                            | Inverter S-11       | 2,73             |
| P2                              | Učionica 1.-4. razreda              | Inverter 21         | 3,99             | P2     | Hodnik                              | Inverter S-6        | 1,6              |
| P3                              | Učionica 1.-4. razreda              | Inverter 21         | 3,99             | P3     | Računovodstvo                       | Inverter S-6        | 1,39             |
| P4                              | Učionica 1.-4. razreda              | Inverter 21         | 3,99             | P4     | Soba za odmor                       | Inverter S-6        | 1,39             |
| P5                              | Učionica 1.-4. razreda              | Inverter 21         | 3,99             | P5     | Tajništvo                           | Inverter S-6        | 1,39             |
| P6                              | Kotlovnica                          | -                   | -                | P6     | Učionica Zemljopis i Povijest       | Inverter 21         | 3,99             |
| P7                              | Učionica Fizika, Kemija i Biologija | Inverter 21         | 3,99             | P7     | Učionica Matematika                 | Inverter 21         | 3,99             |
| P8                              | Kabinet                             | Inverter S-6        | 1,39             | P8     | Učionica Hrvatski i Strani jezik    | Inverter 21         | 3,99             |
| P9                              | WC-M                                | Inverter S-6        | 1,39             | P9     | Učionica Glazbena i likovna kultura | Inverter 21 plus    | 4,15             |
| P10                             | WC-Ž                                | Inverter S-6        | 1,39             | P10    | Hodnik                              | 3xInverter 11       | 6,51             |

|     |                             |                                       |       |     |   |              |      |
|-----|-----------------------------|---------------------------------------|-------|-----|---|--------------|------|
| P11 | Pedagog                     | Inverter S-6                          | 1,39  | P11 | WC-M                                    | Inverter S-6 | 1,39 |
| P12 | Soba za odmor               | Inverter S-6                          | 1,39  | P12 | WC-Ž                                    | Inverter S-6 | 1,39 |
| P13 | Spremište                   | Inverter S-6                          | 1,39  | P13 | Kabinet                                 | Inverter S-6 | 1,39 |
| P14 | Kuhinja                     | Inverter 11                           | 1,89  | P14 | Kabinet                                 | Inverter S-6 | 1,39 |
| P15 | Garderoba-Ž                 | Inverter 11                           | 1,89  | P15 | Učionica Informatika i Tehnička kultura | Inverter 33  | 5,47 |
| P16 | Dvorana                     | 3xInverter plus 40 + Inverter plus 11 | 25,95 | P16 | Kabinet                                 | Inverter S-6 | 1,39 |
| P17 | Garderoba-M                 | Inverter 11                           | 1,89  |     |   |              |      |
| P18 | Hodnik                      | Inverter S-6                          | 1,6   |     |   |              |      |
| P19 | Hodnik                      | -                                     | 0     |     |   |              |      |
| P20 | Kabinet                     | Inverter 11                           | 1,89  |     |   |              |      |
| P21 | Ulazni hodnik s blagovaonom | 3xInverter S-6 + 2xInverter 33        | 15,11 |     |   |              |      |



Slika 5.1 Ventilokonvektori Heliotherm Inverter proizvođača Riello

## 5.2. Regulacija toplinskog učinka ventilokonvektora

Za pravilan rad i minimalnu potrošnju energije sustava potrebno je odabrati i izvesti kvalitetnu regulaciju. Odabran je lokalni sustav regulacije unutar prostorije, što omogućuje individualan odabir temperature za svaku prostoriju po želji korisnika. Ključni element sustava su AB-QM kombinirani regulacijski i balans ventili proizvođača *Danfoss* [7]. Ventil u svome tijelu sadrži regulator diferencijalnoga tlaka *DPC* koji promjenu tlaka na membrani kompenzira silom opruge na stožac u tijelu ventila čime uspostavlja novu ravnotežu sila i održava konstantan diferencijalan tlak. *DPC* služi za balansiranje sustava, dok ulogu regulacije toplinskog učinka preuzima regulacijski ventil *Cv* također smješten u tijelu ventila. Za njega se odabire elektrotermički ON/OFF pogon TWA-Z. Pogon se spaja s regulatorom unutar prostorije na kojem se postavlja željena temperatura u prostoriji. Regulator je također spojen s temperaturnim osjetnikom te s pogonom ventilatora samog ventilokonvektora što omogućava odabir željene brzine vrtnje ventilatora konvektora. Konvektori dolaze predpodešeni na tri brzine vrtnje, s time da najviša brzina vrtnje daje najveći toplinski učinak (koeficijent prijelaza topline raste s rastom brzine strujanja zraka).

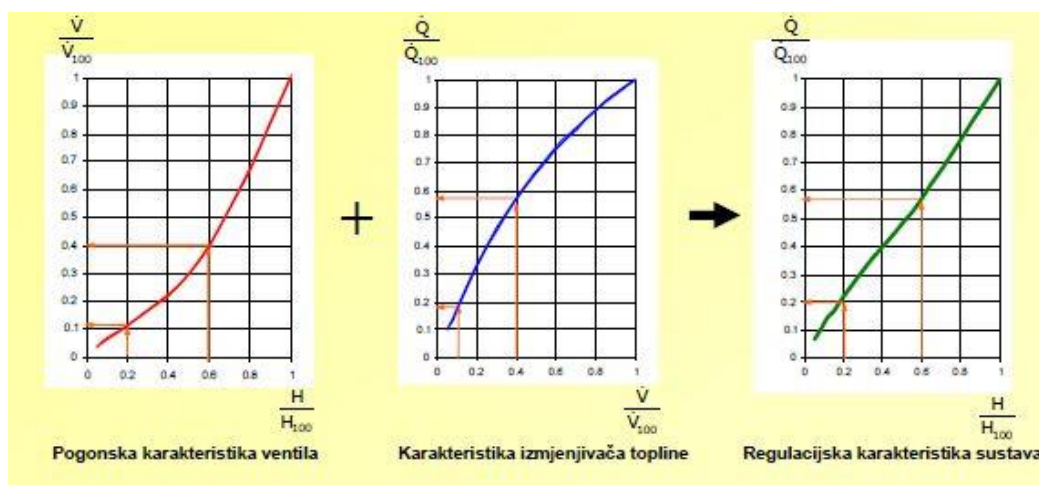


Slika 5.2 AB-QM ventil s TWA-Z pogonom



### 5.3. Regulacija toplinskog učinka grijača i predgrijača ventilacijskih jedinica

Kao i u prethodno poglavlju, za učinkovit i pravilan rad sustava grijača i predgrijača ventilacijskih jedinica odabiru se AB-QM ventili. Karakteristika ventila se odabire kao jednakopostotna kako bi se karakteristika regulacijskog sustava linearizirala. Naime, karakteristika izmjenjivača topline ima brži rast učinka pri manjem protoku nego pri većem pa se od ventila zahtjeva kompenzacija i linearizacija regulacijske krivulje sustava.



Slika 5.3 Regulacijska karakteristika sustava [2]

Za njega se odabire elektromotorni modulirajući pogon AME. Pogon se spaja s regulatorom ventilacijske jedinice. Regulator je također spojen s temperaturnim osjetnicima unutar jedinice te ovisno o temperaturi zraka propušta potrebnu količinu ogrjevnog medija (tople vode).



Slika 5.4 AB-QM ventil s AME pogonom

## 5.4. Dimenzioniranje cijevne mreže

Odabrane veličine cijevi utječu na investicijske troškove ali i na pogonske karakteristike sustava. Veće cijevi znače veću investiciju, ali također smanjuju potrebnu snagu za transport vode. Pri dimenzioniranju cijevne mreže toplovodnog sustava pad tlaka se drži u granicama od 30 do 100 Pa/m. Granica od 100 Pa/m je iskustveni podatak iznad kojeg se obično čuje šum u instalacijama što se ne smije dozvoliti. Glavni vodovi su izvedeni kao čelični, dok se za materijal razvodnih ogranaka koristi bakar radi lakše montaže.

Ulazni podaci:

- $\rho_w = 980,6 \text{ kg/m}^3$  - gustoća vode
- $k = 0,04 \text{ mm}$  - apsolutna hrapavost cijevi
- $\eta_w = 436 \cdot 10^{-6}$  - dinamička viskoznost vode
- $\Delta\vartheta = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  - promjena temperature vode
- $c_w = 4184 \text{ kJ/(kgK)}$  - specifični toplinski kapacitet vode
- $\varepsilon = \frac{k}{d_u}$  - relativna hrapavost kanala
- $Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu}$  - Reynoldsov broj
- $C = \frac{\Phi_{gr}}{\Delta\vartheta}$  - vodena vrijednost (toplinski kapacitet) vode

Tablica 5.2 Dimenzioniranje cijevi

|           | Br. | $\Phi_{gr}$ | $C$   | $q_m$ | $DN$      | $d_u$ | $w$   | $\varepsilon$ | $Re$    | $\lambda$ | $R$   |
|-----------|-----|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|---------------|---------|-----------|-------|
|           | -   | W           | W/K   | kg/s  | mm        | mm    | m/s   | -             | -       | -         | Pa/m  |
| Prizemlje | 1   | 126050      | 12605 | 3,013 | DN65      | 70,3  | 0,792 | 5,7E-04       | 1,3E+05 | 0,020     | 87,80 |
|           | 2   | 70670       | 7067  | 1,689 | DN65      | 70,3  | 0,444 | 5,7E-04       | 7,0E+04 | 0,022     | 29,71 |
|           | 3   | 38870       | 3887  | 0,929 | CuØ54x2   | 50    | 0,483 | 8,0E-04       | 5,4E+04 | 0,023     | 53,03 |
|           | 4   | 10850       | 1085  | 0,259 | CuØ35x1,5 | 32    | 0,329 | 1,3E-03       | 2,4E+04 | 0,028     | 45,74 |
|           | 5   | 6860        | 686   | 0,164 | CuØ28x1,5 | 25    | 0,341 | 1,6E-03       | 1,9E+04 | 0,029     | 66,77 |
|           | 6   | 3990        | 399   | 0,095 | CuØ22x1   | 20    | 0,310 | 2,0E-03       | 1,4E+04 | 0,032     | 74,63 |
|           | 7   | 28020       | 2802  | 0,670 | CuØ54x2   | 50    | 0,348 | 8,0E-04       | 3,9E+04 | 0,024     | 28,94 |
|           | 8   | 16120       | 1612  | 0,385 | CuØ35x1,5 | 32    | 0,489 | 1,3E-03       | 3,5E+04 | 0,026     | 94,86 |
|           | 9   | 7980        | 798   | 0,191 | CuØ28x1,5 | 25    | 0,396 | 1,6E-03       | 2,2E+04 | 0,029     | 87,84 |
|           | 10  | 8140        | 814   | 0,195 | CuØ28x1,5 | 25    | 0,404 | 1,6E-03       | 2,3E+04 | 0,028     | 91,10 |
|           | 11  | 3990        | 399   | 0,095 | CuØ22x1   | 20    | 0,310 | 2,0E-03       | 1,4E+04 | 0,032     | 74,63 |

|  |    |       |      |       |           |    |       |         |         |       |        |
|--|----|-------|------|-------|-----------|----|-------|---------|---------|-------|--------|
|  | 12 | 3990  | 399  | 0,095 | CuØ22x1   | 20 | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63  |
|  | 13 | 11900 | 1190 | 0,284 | CuØ35x1,5 | 32 | 0,361 | 1,3E-03 | 2,6E+04 | 0,027 | 54,21  |
|  | 14 | 5560  | 556  | 0,133 | CuØ28x1,5 | 25 | 0,276 | 1,6E-03 | 1,6E+04 | 0,030 | 45,45  |
|  | 15 | 2780  | 278  | 0,066 | CuØ22x1   | 20 | 0,216 | 2,0E-03 | 9,7E+03 | 0,034 | 38,89  |
|  | 16 | 2780  | 278  | 0,066 | CuØ22x1   | 20 | 0,216 | 2,0E-03 | 9,7E+03 | 0,034 | 38,89  |
|  | 17 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 18 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 19 | 6340  | 634  | 0,152 | CuØ28x1,5 | 25 | 0,315 | 1,6E-03 | 1,8E+04 | 0,030 | 57,80  |
|  | 20 | 3560  | 356  | 0,085 | CuØ22x1   | 20 | 0,276 | 2,0E-03 | 1,2E+04 | 0,032 | 60,47  |
|  | 21 | 2170  | 217  | 0,052 | CuØ18x1   | 16 | 0,263 | 2,5E-03 | 9,5E+03 | 0,035 | 73,87  |
|  | 22 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 23 | 2780  | 278  | 0,066 | CuØ22x1   | 20 | 0,216 | 2,0E-03 | 9,7E+03 | 0,034 | 38,89  |
|  | 24 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 25 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 26 | 31800 | 3180 | 0,760 | CuØ54x2   | 50 | 0,395 | 8,0E-04 | 4,4E+04 | 0,024 | 36,54  |
|  | 27 | 15960 | 1596 | 0,381 | CuØ35x1,5 | 32 | 0,484 | 1,3E-03 | 3,5E+04 | 0,026 | 93,07  |
|  | 28 | 7980  | 798  | 0,191 | CuØ28x1,5 | 25 | 0,396 | 1,6E-03 | 2,2E+04 | 0,029 | 87,84  |
|  | 29 | 7980  | 798  | 0,191 | CuØ28x1,5 | 25 | 0,396 | 1,6E-03 | 2,2E+04 | 0,029 | 87,84  |
|  | 30 | 3990  | 399  | 0,095 | CuØ22x1   | 20 | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63  |
|  | 31 | 3990  | 399  | 0,095 | CuØ22x1   | 20 | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63  |
|  | 32 | 15840 | 1584 | 0,379 | CuØ35x1,5 | 32 | 0,480 | 1,3E-03 | 3,5E+04 | 0,026 | 91,64  |
|  | 33 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 34 | 14450 | 1445 | 0,345 | CuØ35x1,5 | 32 | 0,438 | 1,3E-03 | 3,2E+04 | 0,026 | 77,37  |
|  | 35 | 3560  | 356  | 0,085 | CuØ22x1   | 20 | 0,276 | 2,0E-03 | 1,2E+04 | 0,032 | 60,47  |
|  | 36 | 2170  | 217  | 0,052 | CuØ18x1   | 16 | 0,263 | 2,5E-03 | 9,5E+03 | 0,035 | 73,87  |
|  | 37 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 38 | 10890 | 1089 | 0,260 | CuØ35x1,5 | 32 | 0,330 | 1,3E-03 | 2,4E+04 | 0,028 | 46,00  |
|  | 39 | 6900  | 690  | 0,165 | CuØ28x1,5 | 25 | 0,343 | 1,6E-03 | 1,9E+04 | 0,029 | 67,49  |
|  | 40 | 3990  | 399  | 0,095 | CuØ22x1   | 20 | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63  |
|  | 41 | 55380 | 5538 | 1,324 | CuØ54x2   | 50 | 0,687 | 8,0E-04 | 7,7E+04 | 0,022 | 102,37 |
|  | 42 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 43 | 53990 | 5399 | 1,290 | CuØ54x2   | 50 | 0,670 | 8,0E-04 | 7,5E+04 | 0,022 | 97,68  |
|  | 44 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 45 | 52600 | 5260 | 1,257 | CuØ54x2   | 50 | 0,653 | 8,0E-04 | 7,3E+04 | 0,022 | 93,08  |
|  | 46 | 3770  | 377  | 0,090 | CuØ22x1   | 20 | 0,293 | 2,0E-03 | 1,3E+04 | 0,032 | 67,37  |
|  | 47 | 48830 | 4883 | 1,167 | CuØ54x2   | 50 | 0,606 | 8,0E-04 | 6,8E+04 | 0,022 | 80,92  |
|  | 48 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 49 | 43360 | 4336 | 1,036 | CuØ54x2   | 50 | 0,538 | 8,0E-04 | 6,1E+04 | 0,023 | 64,80  |
|  | 50 | 5470  | 547  | 0,131 | CuØ28x1,5 | 25 | 0,272 | 1,6E-03 | 1,5E+04 | 0,031 | 44,27  |
|  | 51 | 40580 | 4058 | 0,970 | CuØ54x2   | 50 | 0,504 | 8,0E-04 | 5,7E+04 | 0,023 | 57,39  |
|  | 52 | 2780  | 278  | 0,066 | CuØ22x1   | 20 | 0,216 | 2,0E-03 | 9,7E+03 | 0,034 | 38,89  |
|  | 53 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 54 | 1390  | 139  | 0,033 | CuØ15x1   | 13 | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48  |
|  | 55 | 38690 | 3869 | 0,925 | CuØ54x2   | 50 | 0,480 | 8,0E-04 | 5,4E+04 | 0,023 | 52,42  |
|  | 56 | 1890  | 189  | 0,045 | CuØ18x1   | 16 | 0,229 | 2,5E-03 | 8,2E+03 | 0,036 | 57,59  |

|  |    |        |       |       |           |      |       |         |         |       |       |
|--|----|--------|-------|-------|-----------|------|-------|---------|---------|-------|-------|
|  | 57 | 33220  | 3322  | 0,794 | CuØ54x2   | 50   | 0,412 | 8,0E-04 | 4,6E+04 | 0,024 | 39,50 |
|  | 58 | 5470   | 547   | 0,131 | CuØ28x1,5 | 25   | 0,272 | 1,6E-03 | 1,5E+04 | 0,031 | 44,27 |
|  | 59 | 29730  | 2973  | 0,711 | CuØ54x2   | 50   | 0,369 | 8,0E-04 | 4,1E+04 | 0,024 | 32,23 |
|  | 60 | 3490   | 349   | 0,083 | CuØ22x1   | 20   | 0,271 | 2,0E-03 | 1,2E+04 | 0,032 | 58,50 |
|  | 61 | 1890   | 189   | 0,045 | CuØ18x1   | 16   | 0,229 | 2,5E-03 | 8,2E+03 | 0,036 | 57,59 |
|  | 62 | 1600   | 160   | 0,038 | CuØ18x1   | 16   | 0,194 | 2,5E-03 | 7,0E+03 | 0,037 | 42,82 |
|  | 63 | 25950  | 2595  | 0,620 | CuØ42x1,5 | 39   | 0,529 | 1,0E-03 | 4,6E+04 | 0,024 | 85,63 |
|  | 64 | 3780   | 378   | 0,090 | CuØ22x1   | 20   | 0,293 | 2,0E-03 | 1,3E+04 | 0,032 | 67,37 |
|  | 65 | 1890   | 189   | 0,045 | CuØ18x1   | 16   | 0,229 | 2,5E-03 | 8,2E+03 | 0,036 | 57,59 |
|  | 66 | 1890   | 189   | 0,045 | CuØ18x1   | 16   | 0,229 | 2,5E-03 | 8,2E+03 | 0,036 | 57,59 |
|  | 67 | 23820  | 2382  | 0,569 | CuØ42x1,5 | 39   | 0,486 | 1,0E-03 | 4,3E+04 | 0,025 | 73,17 |
|  | 68 | 2130   | 213   | 0,051 | CuØ18x1   | 16   | 0,258 | 2,5E-03 | 9,3E+03 | 0,035 | 71,35 |
|  | 69 | 15880  | 1588  | 0,380 | CuØ35x1,5 | 32   | 0,481 | 1,3E-03 | 3,5E+04 | 0,026 | 91,99 |
|  | 70 | 7940   | 794   | 0,190 | CuØ28x1,5 | 25   | 0,394 | 1,6E-03 | 2,2E+04 | 0,029 | 87,01 |
|  | 71 | 7940   | 794   | 0,190 | CuØ28x1,5 | 25   | 0,394 | 1,6E-03 | 2,2E+04 | 0,029 | 87,01 |
|  | 72 | 7940   | 794   | 0,190 | CuØ28x1,5 | 25   | 0,394 | 1,6E-03 | 2,2E+04 | 0,029 | 87,01 |
| <b>Prvi kat</b>                        | 73 | 2170   | 217   | 0,052 | CuØ18x1   | 16   | 0,263 | 2,5E-03 | 9,5E+03 | 0,035 | 73,87 |
|  | 74 | 1390   | 139   | 0,033 | CuØ15x1   | 13   | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48 |
|  | 75 | 1390   | 139   | 0,033 | CuØ15x1   | 13   | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48 |
|  | 76 | 1390   | 139   | 0,033 | CuØ15x1   | 13   | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48 |
|  | 77 | 3990   | 399   | 0,095 | CuØ22x1   | 20   | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63 |
|  | 78 | 4150   | 415   | 0,099 | CuØ22x1   | 20   | 0,322 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,031 | 79,97 |
|  | 79 | 3990   | 399   | 0,095 | CuØ22x1   | 20   | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63 |
|  | 80 | 3990   | 399   | 0,095 | CuØ22x1   | 20   | 0,310 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 74,63 |
|  | 81 | 1390   | 139   | 0,033 | CuØ15x1   | 13   | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48 |
|  | 82 | 5470   | 547   | 0,131 | CuØ28x1,5 | 25   | 0,272 | 1,6E-03 | 1,5E+04 | 0,031 | 44,27 |
|  | 83 | 1600   | 160   | 0,038 | CuØ18x1   | 16   | 0,194 | 2,5E-03 | 7,0E+03 | 0,037 | 42,82 |
|  | 84 | 2730   | 273   | 0,065 | CuØ22x1   | 20   | 0,212 | 2,0E-03 | 9,5E+03 | 0,034 | 37,60 |
|  | 85 | 4170   | 417   | 0,100 | CuØ22x1   | 20   | 0,324 | 2,0E-03 | 1,5E+04 | 0,031 | 80,88 |
|  | 86 | 2780   | 278   | 0,066 | CuØ22x1   | 20   | 0,216 | 2,0E-03 | 9,7E+03 | 0,034 | 38,89 |
|  | 87 | 1390   | 139   | 0,033 | CuØ15x1   | 13   | 0,255 | 3,1E-03 | 7,5E+03 | 0,037 | 91,48 |
| <b>Prema ventilacijskim jedinicama</b> | 88 | 54800  | 5480  | 1,310 | DN50      | 54,5 | 0,573 | 7,3E-04 | 7,0E+04 | 0,022 | 65,48 |
|  | 89 | 15200  | 1520  | 0,363 | CuØ35x1,5 | 32   | 0,461 | 1,3E-03 | 3,3E+04 | 0,026 | 85,05 |
|  | 90 | 39600  | 3960  | 0,946 | CuØ54x2   | 50   | 0,492 | 8,0E-04 | 5,5E+04 | 0,023 | 54,88 |
|  | 91 | 29200  | 2920  | 0,698 | CuØ54x2   | 50   | 0,362 | 8,0E-04 | 4,1E+04 | 0,024 | 31,11 |
|  | 92 | 10400  | 1040  | 0,249 | CuØ35x1,5 | 32   | 0,315 | 1,3E-03 | 2,3E+04 | 0,028 | 42,25 |
|  | 93 | 6500   | 650   | 0,155 | CuØ28x1,5 | 25   | 0,323 | 1,6E-03 | 1,8E+04 | 0,030 | 60,48 |
|  | 94 | 3900   | 390   | 0,093 | CuØ22x1   | 20   | 0,303 | 2,0E-03 | 1,4E+04 | 0,032 | 71,59 |
| <b>Kotlovnica</b>                      | 95 | 186680 | 18668 | 4,462 | DN80      | 82,5 | 0,851 | 4,8E-04 | 1,6E+05 | 0,019 | 82,59 |
|  | 96 | 5830   | 1166  | 0,279 | DN25      | 28,5 | 0,445 | 1,4E-03 | 2,9E+04 | 0,027 | 92,22 |

### 5.5. Odabir kotla i akumulacijske posude

Uzimajući u obzir sve potrošače odabran je kotao na pelete EKO-CKS P UNIT 230 tvrtke Centrometal [8]. Kotao radi u temperaturnom režimu 70/60 °C. Oprema se pelet plamenikom CPPL inv, opremom za automatsko čišćenje plamenika te digitalnom kotlovskom regulacijom CPREG-1. Nazivna snaga kotla je 230 kW, dok mu je područje regulacije od 69 kW do 230 kW.

Zbog minimalne temperature povrata vode u kotao od 60 °C izvodi se sigurnosni vod dimenzija DN40, koji kratko spaja polaz i povrat kotla. Osjetnik temperature se smješta u povratni vod te se u povratnu struju miješajućim troputnim ventilom dodaje topla struja polaza kotla ukoliko je to potrebno. Kada temperatura povrata vode pada ispod 60 °C postoji mogućnost kondenzacije vodene pare sadržane u dimnim plinovima unutar kotla što uzrokuje neželjenu koroziju i oštećenja kotla.



*Slika 5.5 Kotao na pelete EKO-CKS P 230*

Za stabilan rad kotla pri promjenjivim toplinskim opterećenjima ugrađuje se akumulacijski spremnik CAS 3001 tvrtke Centrometal. Kotao na pelete zahtjeva relativno stabilnu radnu točku što

mu omogućujemo adekvatnim akumulacijskim spremnikom. Spremnik je volumena 2960 l što zadovoljava preporučenu vrijednost proizvođača (10 l/kW).



Slika 5.6 Akumulacijski spremnik CAS 3001

## 5.6. Sustav pripreme potrošne tople vode

Za potrebe škole projektira se sustav pripreme potrošne tople vode. Potrošači su dva tuša smještena u muškoj i ženskoj garderobu, te školska kuhinja. Proračun je slijedeći:

Satna potrošnja:

$$q_{V,h} = q_{V,tuš,h} + q_{V,kuh,h} = 2 \cdot 100 + 50 = 250 \text{ l/h}$$

Ulazni podaci:

- $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$  - gustoća vode
- $c_w = 4200 \text{ J/(kgK)}$  - toplinski kapacitet vode
- $\vartheta_{ul} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  - temperatura ulazne vode iz cjevovodne mreže
- $\vartheta_{iz} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  - temperatura vode na mjestu potrošnje
- $\vartheta_s = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  - temperatura vode u spremniku
- $z_a = 2 \text{ h}$  - vrijeme predzagrijavanja vode
- $z_b = 4 \text{ h}$  - vrijeme potrošnje vode
- $b = 1,1$  - faktor negrijanog volumena

Toplinska snaga potrebna za grijanje vode:

$$\Phi_{PTV} = q_V \cdot \rho \cdot c_w \cdot (\vartheta_{iz} - \vartheta_{ul})$$

$$\Phi_{PTV} = \frac{250}{1000 \cdot 3600} \cdot 1000 \cdot \frac{4200}{1000} \cdot (40 - 10) = 8,75 \text{ kW}$$

Potrebna toplinska snaga grijača:

$$\Phi_{gr} = \frac{\Phi_{PTV} \cdot z_b}{z_a + z_b} = \frac{8,75 \cdot 2}{2 + 4} = 5,83 \text{ kW}$$

Potrebna akumulirana energija u spremniku:

$$C_a = \Phi_{gr} \cdot z_a = 5,83 \cdot 2 = 11,66 \text{ kW}$$

Proračunski volumen spremnika:

$$V_s = \frac{C_a \cdot b}{\rho \cdot c_w \cdot (\vartheta_s - \vartheta_{ul})} = \frac{11,66 \cdot 1,1}{1000 \cdot 4,2 \cdot (60 - 10)} = 0,22 \text{ m}^3 = 220 \text{ l}$$

Nakon izvršenog proračuna odabire se stojeći spremnik potrošne tople vode VITOCCELL 100-V proizvođača Viessmann [9]. Spremnik je volumena 300 l te se nadograđuje s električnim grijačem kapaciteta 6 kW koji služi za zagrijavanje vode po prestanku sezone grijanja. Kotao naime ima prevelik kapacitet te bi ga bilo neekonomično uključivati samo radi potreba pripreme PTV-a.



Slika 5.7 Spremnik PTV-a Vitocell 100-V

## 5.7. Ekspanzijska posuda

Ekspanzijska posuda se ugrađuje u sustav grijanja iz više razloga. Njena regulacija tlaka u sustavu uključuje predpodešenje minimalnog tlaka u sustavu i ograničavanje najvećeg dopuštenog radnog pretlaka putem sigurnosnog ventila. Posuda također kompenzira promjene volumena vode u sustavu. Naime gustoća vode se snižava rastom temperature što dovodi do njene volumenske ekspanzije, a taj efekt se kompenzira ekspanzijskom posudom. U njen proračunski volumen još se uračunava i zaliha vode koja sprječava pojavu manjka ogrjevnog medija (vode) u sustavu.

Proračun je sljedeći:

Ulazni podaci:

- $n$  ( $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) = 2,24 % - postotak volumnog širenja vode od  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  do temperature polaza vode
- $V_A = 4296\text{ l}$  - ukupni volumen vode u sustavu
- $p_e = 2,5\text{ bar}$  - projektni krajnji tlak, uzet kao 0,5 bar manji od tlaka sigurnosnog ventila (3bar)
- $h_{sys} = 10\text{ m}$  - statička visina instalacije od ekspanzijske posude do najviše točke sustava
- $h_{dod} = 3\text{ m}$  - dodatna visina iz sigurnosnih razloga

Primarni tlak:

$$p_0 = \frac{h_{sys} + h_{dod}}{10} = \frac{10 + 3}{10} = 1,3\text{ bar}$$

Dodatni volumen (0,5 % volumena vode u sustavu):

$$V_V = 0,005 \cdot V_A = 0,0005 \cdot 4296 = 21,48\text{ l}$$

Volumen širenja vode:

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{2,24 \cdot 4296}{100} = 96,24\text{ l}$$

Minimalni volumen ekspanzijske posude:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (96,24 + 21,48) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,3} = 343\text{ l}$$



Odabrana je membranska ekspanzijska posuda MAXIVAREM LR CE proizvođača Varem [10] volumena 400 l.



Slika 5.8 Membranska ekspanzijska posuda MAXIVAREM LR CE volumena 400 l

### 5.8. Proračun kritičnih dionica i odabir pumpe za sustav

Analogno kao kod zračnog sustava kritična dionica je dionica je definirana kao ona s najvećim padom tlaka u sustavu. Specifičnost proračuna sustava cijevi jest ta da se usporedno računaju polazni i povratni vod sustava budući da su izvedeni paralelno jedan do drugoga s gotovo identičnim duljinama. Da bi se izbjegli nesporazumi lokalni otpori se računaju samo na elementima gdje voda ustrujava u dionicu. Pad tlaka na kritičnoj dionici i volumni protok vode su ulazni parametri pri dimenzioniranju pumpe. Sustav se izvodi s četiri pumpe a njihovo proračun je dat u nastavku. Pad tlaka se sastoji od linijskog pada tlaka definiranog izrazom:

$$R = \Delta p_F = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

te od lokalnih padova tlaka definiranih kao:

$$Z = \Delta p_L = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

### 5.8.1. Cirkulacijski krug kotao - akumulacijski spremnik:

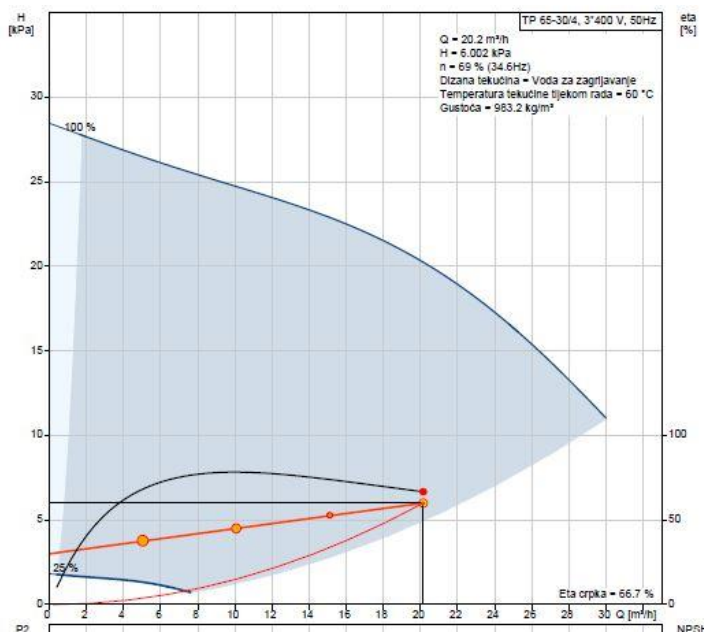
Tablica 5.3 Kritična dionica kotlovske pumpe

| Br.               | L    | $Q_{gr}$ | $q_m$ | DN   | $d_u$ | w     | R      | $\sum \zeta$ | Z       | R·L+Z   |
|-------------------|------|----------|-------|------|-------|-------|--------|--------------|---------|---------|
| -                 | m    | kW       | kg/s  | mm   | mm    | m/s   | Pa/m   | -            | Pa      | Pa      |
| 0                 | 13,4 | 230000   | 5,497 | DN80 | 82,5  | 1,049 | 122,88 | 6,5          | 3506,92 | 5153,51 |
| Pad tlaka u kotlu |      |          |       |      |       |       |        |              |         | 800     |
| $\Sigma$          |      |          |       |      |       |       |        |              |         | 5954    |

Odabrana je pumpa Pumpa Grundfos TP 65/30-4 [11]. Pumpa je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

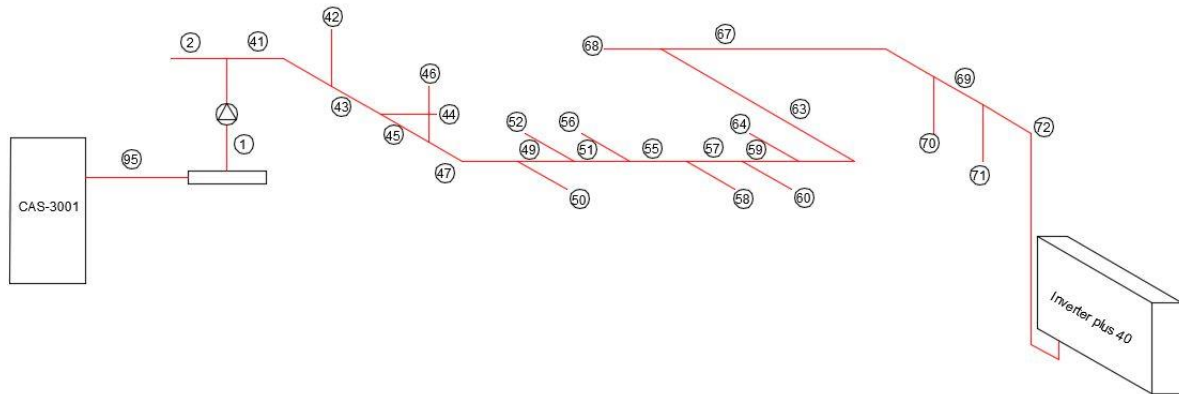
Tehničke karakteristike:

- Protok: 20,2 m<sup>3</sup>/h
- Snaga: 50 W
- Visina dizanja: 6,0 kPA
- Učinkovitost: 66,7 %



Slika 5.9 Radna točka kotlovske pume

### 5.8.2. Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilokonvektori



Slika 5.10 Shema kritične dionice cirkulacijskog kruga akumulacijski spremnik - ventilokonvektori

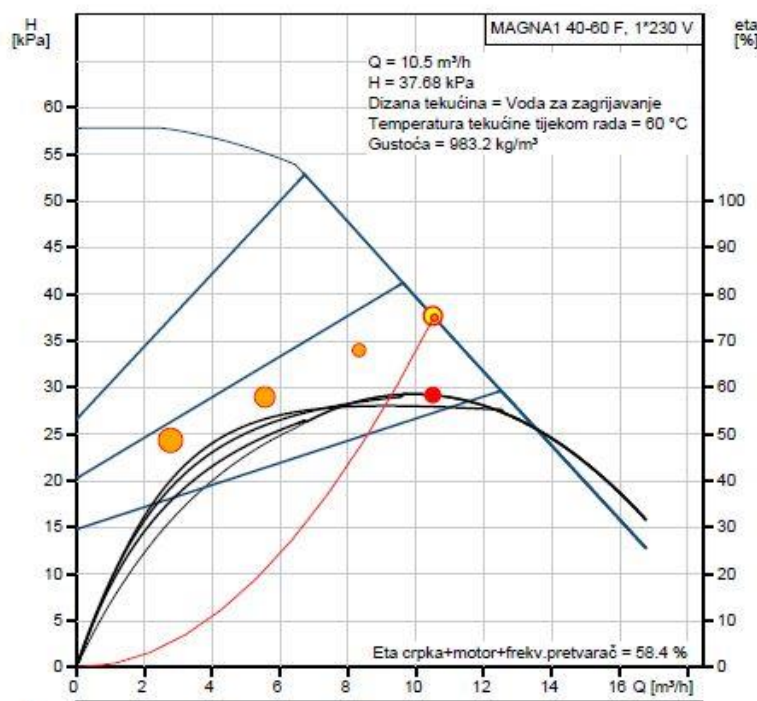
Tablica 5.4 Kritična dionica pumpe ventilokonvektorskog sustava

| Br.                            | L    | $Q_{gr}$ | $q_m$ | DN        | $d_u$ | w     | R      | $\sum \zeta$ | Z       | $R \cdot L + Z$ |
|--------------------------------|------|----------|-------|-----------|-------|-------|--------|--------------|---------|-----------------|
| -                              | m    | kW       | kg/s  | mm        | mm    | m/s   | Pa/m   | -            | Pa      | Pa              |
| 95                             | 13,4 | 126050   | 3,013 | DN80      | 82,5  | 0,575 | 39,48  | 3,5          | 567,37  | 1096,40         |
| 1                              | 6    | 126050   | 3,013 | DN65      | 70,3  | 0,792 | 87,80  | 4,5          | 1383,96 | 2086,36         |
| 41                             | 10,6 | 55380    | 1,324 | CuØ54x2   | 50    | 0,687 | 102,37 | 3,5          | 809,92  | 1895,04         |
| 43                             | 8,4  | 53990    | 1,290 | CuØ54x2   | 50    | 0,670 | 97,68  | 2,5          | 550,24  | 1370,75         |
| 45                             | 7    | 52600    | 1,257 | CuØ54x2   | 50    | 0,653 | 93,08  | 2,5          | 522,67  | 1174,23         |
| 47                             | 3,2  | 48830    | 1,167 | CuØ54x2   | 50    | 0,606 | 80,92  | 4,5          | 810,25  | 1069,20         |
| 49                             | 5    | 43360    | 1,036 | CuØ54x2   | 50    | 0,538 | 64,80  | 2            | 283,83  | 607,83          |
| 51                             | 6    | 40580    | 0,970 | CuØ54x2   | 50    | 0,504 | 57,39  | 2            | 249,09  | 593,43          |
| 55                             | 4,4  | 38690    | 0,925 | CuØ54x2   | 50    | 0,480 | 52,42  | 2            | 225,93  | 456,58          |
| 57                             | 5,6  | 33220    | 0,794 | CuØ54x2   | 50    | 0,412 | 39,50  | 2            | 166,45  | 387,65          |
| 59                             | 2    | 29730    | 0,711 | CuØ54x2   | 50    | 0,369 | 32,23  | 2            | 133,52  | 197,98          |
| 63                             | 39   | 25950    | 0,620 | CuØ42x1,5 | 39    | 0,529 | 85,63  | 5            | 686,03  | 4025,60         |
| 67                             | 28   | 23820    | 0,569 | CuØ42x1,5 | 39    | 0,486 | 73,17  | 5            | 579,03  | 2627,79         |
| 69                             | 16   | 15880    | 0,380 | CuØ35x1,5 | 32    | 0,481 | 91,99  | 2            | 226,87  | 1698,71         |
| 72                             | 16,8 | 7940     | 0,190 | CuØ28x1,5 | 25    | 0,394 | 87,01  | 2,5          | 190,28  | 1652,05         |
| Pad tlaka na ventilokonvektoru |      |          |       |           |       |       |        |              |         | 17700           |
| $\Sigma$                       |      |          |       |           |       |       |        |              |         | 38640           |

Odabrana je pumpa Puma Grundfos Magna1 40-60. Puma je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

Tehničke karakteristike:

- Protok: 11,06 m<sup>3</sup>/h
- Snaga: 188 W
- Visina dizanja: 38,6 kPa
- Učinkovitost: 58,4 %



Slika 5.11 Radna točka pumpe sustava ventilokonvektora

### 5.8.3. Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - ventilacijske jedinice

Tablica 5.5 Kritična dionica pumpe sustava ventilacijskih jedinica

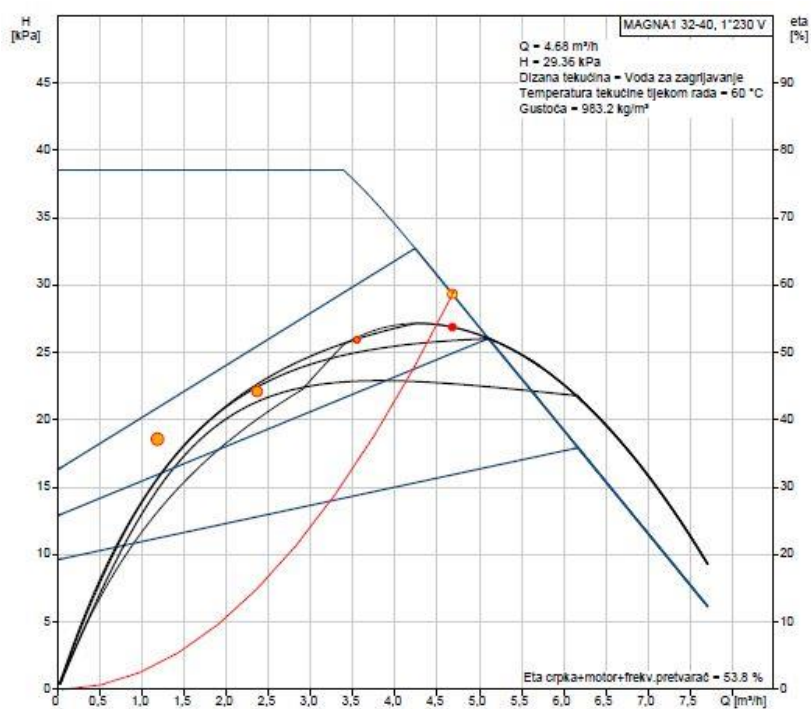
| Br. | $L$ | $Q_{gr}$ | $q_m$ | $DN$ | $d_u$ | $w$ | $R$  | $\sum \zeta$ | $Z$ | $R \cdot L + Z$ |
|-----|-----|----------|-------|------|-------|-----|------|--------------|-----|-----------------|
| -   | m   | kW       | kg/s  | mm   | mm    | m/s | Pa/m | -            | Pa  | Pa              |

|                     |      |       |       |         |      |       |       |     |        |         |
|---------------------|------|-------|-------|---------|------|-------|-------|-----|--------|---------|
| 95                  | 13,4 | 54800 | 1,288 | DN80    | 82,5 | 0,246 | 8,23  | 3,5 | 103,85 | 214,13  |
| 88                  | 44,2 | 54800 | 1,288 | DN50    | 54,5 | 0,563 | 63,36 | 3,5 | 543,93 | 3344,45 |
| 90                  | 6    | 39600 | 0,946 | CuØ54x2 | 50   | 0,492 | 54,88 | 3,5 | 415,39 | 744,67  |
| 91                  | 3    | 29200 | 0,698 | CuØ54x2 | 50   | 0,362 | 31,11 | 3   | 192,75 | 286,08  |
| Pad tlaka u grijaču |      |       |       |         |      |       |       |     |        | 25500   |
| Σ                   |      |       |       |         |      |       |       |     |        | 29464   |

Odabrana je pumpa Pumpa Grundfos Magna1 32-40. Pumpa je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

Tehničke karakteristike:

- Protok: 4,73 m<sup>3</sup>/h
- Snaga: 71 W
- Visina dizanja: 29,46 kPa
- Učinkovitost: 53,8 %



Slika 5.12 Radna točka pumpe sustava ventilacijskih jedinica

#### 5.8.4. Cirkulacijski krug akumulacijski spremnik - spremnik potrošne tople vode

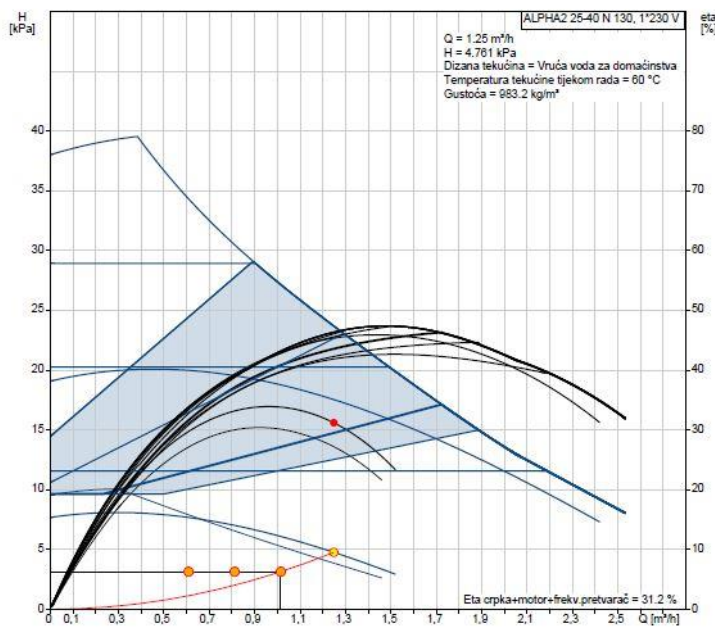
Tablica 5.6 Kritična dionica pumpe sustava potrošne tople vode

| Br.                       | L   | $Q_{gr}$ | $q_m$ | DN   | $d_u$ | w     | R     | $\sum \zeta$ | Z      | R·L+Z  |
|---------------------------|-----|----------|-------|------|-------|-------|-------|--------------|--------|--------|
| -                         | m   | kW       | kg/s  | mm   | mm    | m/s   | Pa/m  | -            | Pa     | Pa     |
| 95                        | 6,4 | 5830     | 0,279 | DN80 | 82,5  | 0,053 | 0,53  | 3,5          | 4,82   | 8,21   |
| 96                        | 2,4 | 5830     | 0,279 | DN25 | 28,5  | 0,445 | 92,22 | 4            | 388,37 | 609,69 |
| Pad tlaka u spremniku PTV |     |          |       |      |       |       |       |              |        | 2500   |
| $\Sigma$                  |     |          |       |      |       |       |       |              |        | 3118   |

Odabrana je pumpa Pumpa Grundfos Alpha2 25-40. Pumpa je opremljena frekventnim pretvaračem za regulaciju brzine vrtnje.

Tehničke karakteristike:

- Protok: 1,02 m<sup>3</sup>/h
- Snaga: 5,3 W
- Visina dizanja: 3,12 kPa
- Učinkovitost: 31,2 %



Slika 5.13 Radna točka pumpe sustava PTV-a

## 6. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

### 6.1. Ventilacijski sustav

Ventilacijski sustav je izveden s dvije ventilacijske jedinice ugrađene na armirano betonski krov iznad centralnog dijela škole. Prva jedinica opslužuje učionice, uredske prostorije zaposlenih te centralni dio škole, ukupnog volumnog protoka u iznosu od 9260 m<sup>3</sup>/h. Druga jedinica projektirana je za ventilaciju školske dvorane s pripadajućim garderobama, a njen volumni protok iznosi 2160 m<sup>3</sup>/h.

Projektna temperatura ubacivanja jednaka je za obje jedinice te iznosi 18 °C. Obje jedinice imaju jednak raspored komponenti. Ugrađeni su predgrijač vanjske struje zraka, pločasti rekuperator topline, grijač, odsisni i dobavni ventilator te pripadajući filtri klasa F7 i G4. Temperaturni režimi grijača i predgrijača iznose 70/60 °C. Kanalni razvod obje jedinice izveden je s okruglim kanalima.

Regulacija ogrjevnog učinka grijača i predgrijača vrši se putem regulacijskih ventila AB-QM s modulirajućim pogonom. Ulazni parametri su temperature zraka nakon predgrijača i temperatura zraka nakon grijača. Ovisno o promjeni temperature regulator kontinuirano vrši promjenu otvorenosti ventila te time utječe na ogrjevni učinak grijača i predgrijača. Regulacijska karakteristika sustava je izvedena kao linearna. Regulator je također spojen s cirkulacijskom pumpom koja dobavlja toplu vodu u jedinice te po potrebi mijenja brzinu vrtnje pumpe frekventnim pretvaračem ili ju isključuje.

Dvoranska ventilacijska jedinica izvedena je kao sustav konstantnog volumnog protoka zraka. Ventilacijska jedinica se uključuje pri korištenju školske dvorane npr. pri nastavi Tjelesne i zdravstvene kulture, prilikom raznih sportskih natjecanja ili drugih događaja.

Glavna ventilacijska jedinica izvedena je kao sustav varijabilnog protoka zraka. Regulacija protoka se vrši lokalno, po prostorijama. CO<sub>2</sub> osjetnici mjere koncentraciju CO<sub>2</sub> u prostoriji te šalju signal lokalnom regulatoru. Regulator upravlja motornim pogonom na VAV elementima te time povećava ili smanjuje volumni protok zraka mijenjajući kut nagiba zaklopke unutar elementa. Velik broj instaliranih kutija uzrokuje dinamične promjene tlaka u kanalnom razvodu te se unutar njih smještaju osjetnici statičkog tlaka kako bi se učinkovito pratile promjene

volumnih protoka zraka i izvršila precizna i pravovremena regulacija brzine vrtnje ventilatora jedinice.

Sustav ventilacije sanitarija izveden je kao odsisni s okruglim kanalima. Izvedena su dva sustava, po jedan za svaku etažu. Ugrađene su nepovratne zaklopke i kanalni aksijalni ventilatori koji su spojeni s elektroprekidačem rasvjete sanitarija. Na vrata su ugrađene aluminijske rešetke kako bi se osiguralo prestrujavanje zraka iz okolnih prostora za vrijeme rada sustava.

## 6.2. Sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode

Za pokrivanje toplinskih gubitaka po prostorijama odabrani su ventilokonvektori. 44 ugrađena ventilokonvektora daju ogrjevnj učinak od 126,05 kW pri temperaturnom režimu 70/60 °C. Ventilokonvektori su smješteni u prostorije na mjesta najvećih toplinskih gubitaka, ispod vanjskog prozora. Njihova regulacija vrši se lokalno preko regulatora u prostoriji. Pri postizanju željene temperature regulator preko regulacijskih ventila AB-QM s ON/OFF pogonom prekida dobavu tople vode u tijelo. Regulator je također spojen s ventilatorom konvektora dajući korisniku jedan dodatan komfor.

U prostor kotlovnice ugrađen je kotao na pelete ukupnog kapaciteta 230 kW. Uz kotao dolazi i spremnik peleta volumena 2,7 m<sup>3</sup>. Ventilator i elektrogrijač smješteni u plameniku vođeni regulacijom automatski pale pelete te održavaju plamen za potpuno automatski rad sustava. Izveden je sigurnosni vod kotla čija je zadaća držati temperaturu povratnog voda u kotao iznad 60 °C. Za stabilan rad kotla ugrađuje se akumulacijski spremnik volumena 3000 l. Regulaciju tlaka u sustavu vrši membranska ekspanzijska posuda volumena 400 l, a njena zadaća je također i kompenziranje efekta volumnog širenja vode uzrokovanog promjenom temperature.

Priprema potrošne tople vode vrši se u prostoru kotlovnice. Voda se zagrijava kotlovskom vodom za vrijeme sezone grijanja, a za pripremu izvan sezone grijanja ugrađen je električni grijač. Predviđena je temperatura potrošne tople vode od 60 °C.

Regulacija omogućava potpuno automatski rad sustava. Regulator upravlja pumpom predviđenom za opskrbu spremnika PTV-a preko temperaturnog osjetnika unutar spremnika. Troputni miješajući ventil kratko spaja polaz i povrat kotla kada temperaturni osjetnik u povratnom vodu izmjeri temperaturu nižu od 60 °C. Kotlovskom pumpom se upravlja preko temperature vode



unutar akumulacijskog spremnika. Brzina vrtnje pumpe koja dobavlja toplu vodu sustavu ventilokonvektora regulira se preko osjetnika diferencijalnog tlaka ugrađenog u samu pumpu.

## 7. ZAKLJUČAK

Ovim završnim radom predstavljeno je rješenje sustava grijanja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode Osnovne škole Jabukovac, smještenoj na području grada Petrinje. Projektno toplinsko opterećenje izračunato je prema normi EN 12831 uz pomoć programskog paketa *IntegraCAD*, a provedena je i ručna provjera rezultata.

Odlučeno je sustav ventilacije podijeliti na dvije zone. Prva zona se regulira koncentracijom CO<sub>2</sub> plina u zraku. Ta zona uključuje sve učionice, urede školskih zaposlenika te centralni dio škole. Takva vrsta regulacije je primijenjena zato što se očekuje relativno kontinuirana promjena broja ljudi u tim prostorijama. Sustav je projektiran za najveći očekivani broj ljudi unutar pojedine prostorije. Ljudi kao glavni izvor CO<sub>2</sub> u zgradi povećavaju koncentraciju svojim boravkom u prostoriji, a sustav ventilacije ju snižava ubacujući vanjski zrak niže koncentracije te odvođeci unutrašnji zrak veće koncentracije. Druga zona služi ventilaciji dvorane u kojoj se očekuje relativno konstantan broj korisnika te se i protok zraka iz tog razloga drži konstantnim.

Zbog geografske lokacije škole kotao kao pogonsko gorivo koristi biomasu, odnosno pelete. Škola je smještena na brdovitom području, okružena je šumom te je cijena biomase u tom području izrazito pristupačna.

Ventilokonvektori kao ogrjevnja tijela pružaju višu razinu komfora u odnosu na klasične člankaste ili pločaste radijatore što opravdava njihovu nešto višu investicijsku cijenu. Sa stajališta komfora podno grijanje se čini kao najzanimljivije rješenje, međutim veliki investicijski troškovi isključuju njegovu primjenu.

Potrošna topla voda se priprema za potrebe tuševa u garderobama te za potrebe pranja posuđa u školskoj kuhinji. Ogrjevni učinak za grijanje PTV-a osigurava kotao u sezoni grijanja ili električni grijač ugrađen u spremnik izvan sezone.

U toplovodni sustav ugrađena je sva potrebna sigurnosna i regulacijska oprema. Akumulacijski spremnik i membranska ekspanzijska posuda smješteni su u kotlovnici u podrumu gdje se nalazi i kotao. Kotlovnica je ventilirana prema propisima struke te se osigurao sigurnosni izlaz na školsko dvorište.

U sustav je implementirana regulacija koja omogućava potpuno automatski rad sustava. Lokalno je omogućena regulacija temperature u prostorijama te se lokalno još vrši regulacija

volumnog protoka dobavnog i povratnog zraka u učionicama i uredskim prostorima. Ostali dijelovi regulacijske i mjerne opreme spojeni su na glavne regulator toplovodnog sustava i na glavni regulator ventilacijskog sustava.

## LITERATURA

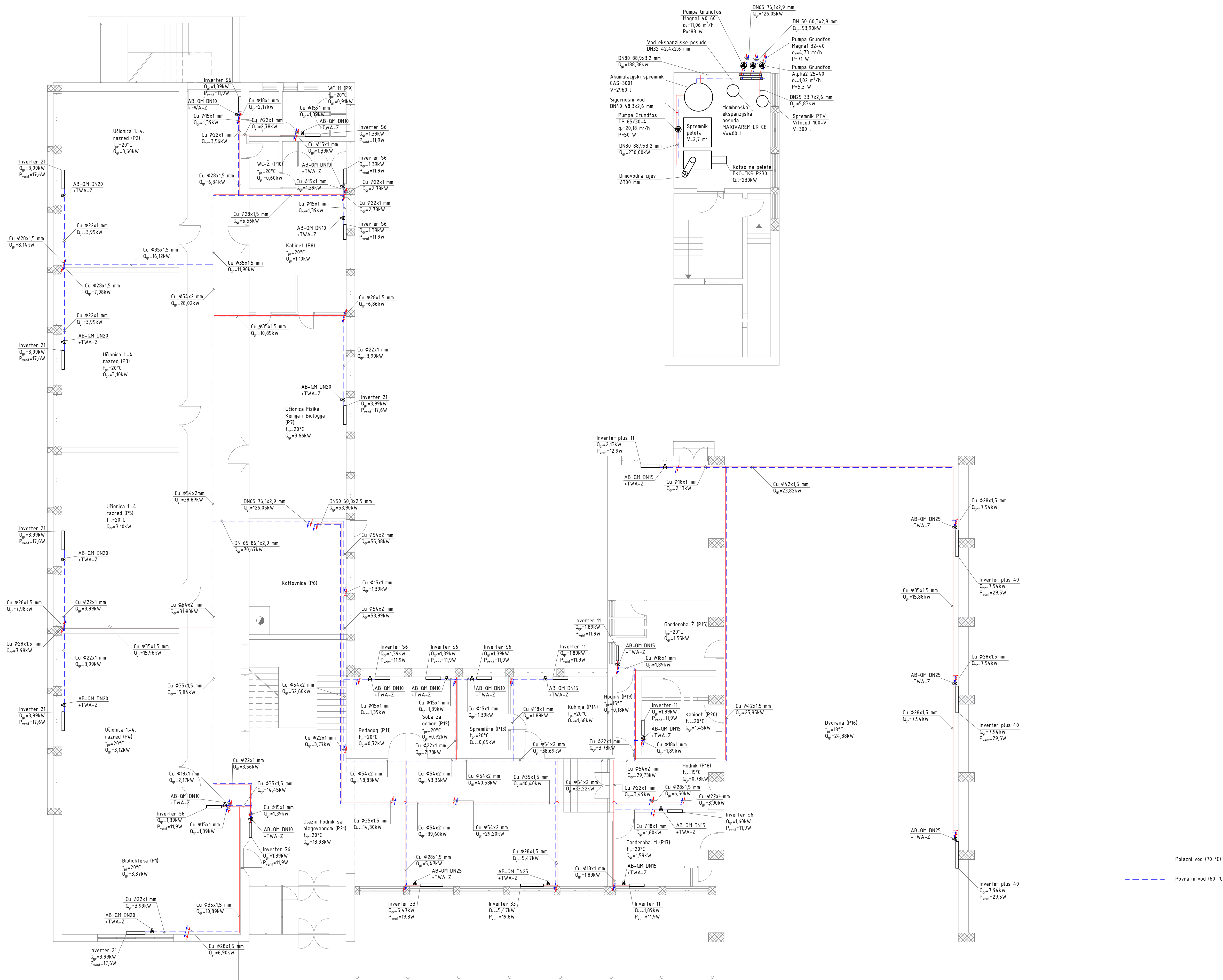
- [1] Recknagel, Šprengel, Šramek i Čeperković, Grejanje i klimatizacija, Vrnjačka Banja: Interklima, 2004..
- [2] I. Balen, Podloge za predavanja iz kolegija "Grijanje", Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2017..
- [3] <http://energyalliancegroup.org/sick-classrooms-require-energy-efficient-solutions-2/>.
- [4] <http://www.klimaoprema.hr/hr/home/>.
- [5] M. Ruševljan, Cjevovodi, Zagreb: FSB, 2011..
- [6] <https://www.systemair.com/>.
- [7] B. Kraut, Strojarski priručnik, Zagreb: Sajema, 2009..
- [8] <http://www.riello.com>.
- [9] <http://www.danfoss.hr/>.
- [10] <https://www.centrometal.hr/>.
- [11] <https://www.viessmann.hr/>.
- [12] <http://www.varem.com>.
- [13] <http://www.grundfos.com/>.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disk
- II. Tehnička dokumentacija

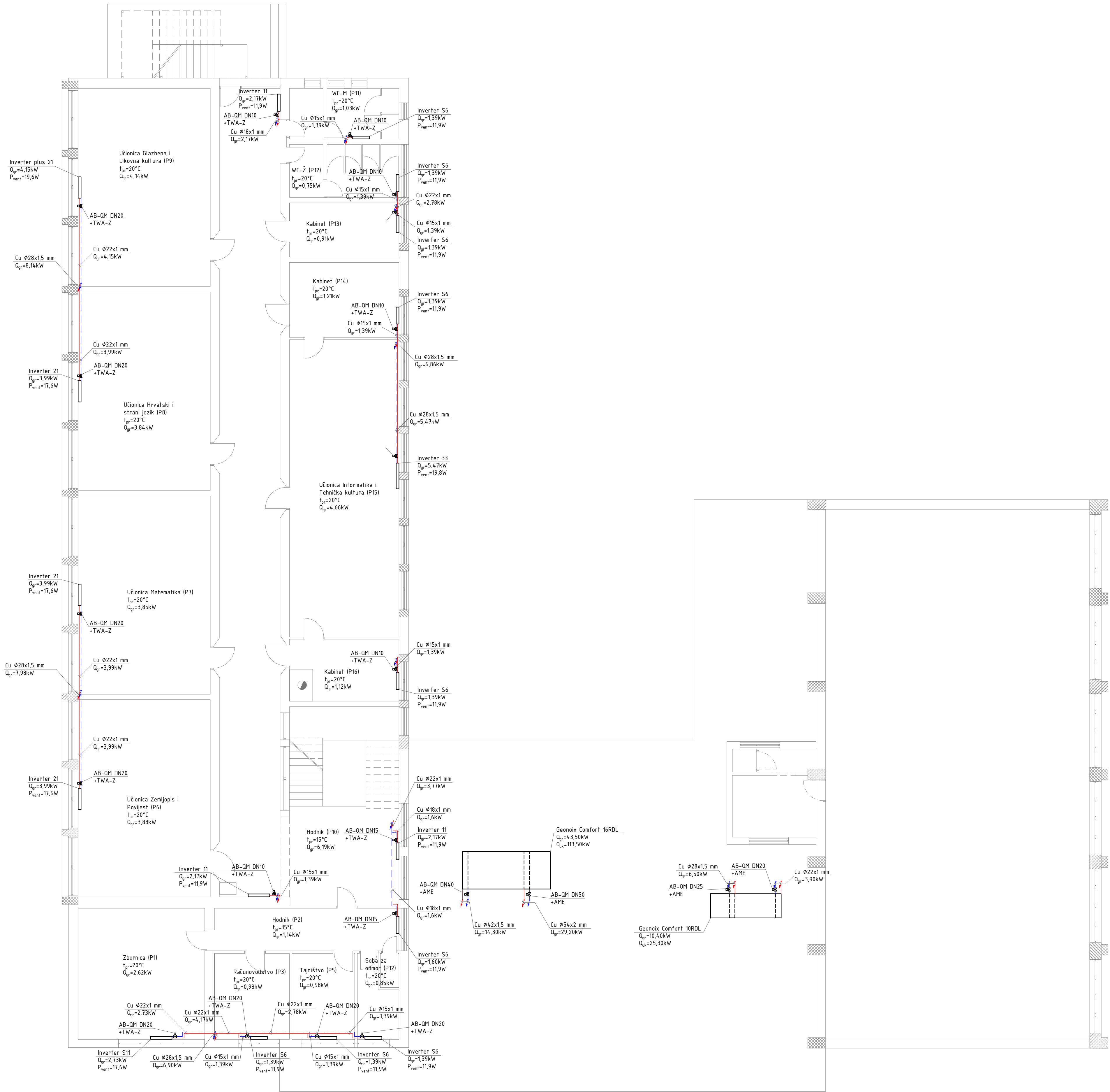
# Kotlovnica smještena u podrumu

M 1:100



| Datum  | Ime i prezime   | Polpis       |
|--|-----------------|--------------|
| 23.02.2018.  | Antonio Radenić |              |
| 23.02.2018.  | Antonio Radenić |              |
| 23.02.2018.  | Antonio Radenić |              |
| Pregledao  | Darko Smoljan   |              |
| Završni rad  |                 |              |
| Objekt: Tlocrti spajanja i smještaje opreme sustava toplodvodnog grijanja - prizemlje i podrum |                 | Objekt broj: |
|  |                 | R. N. broj:  |



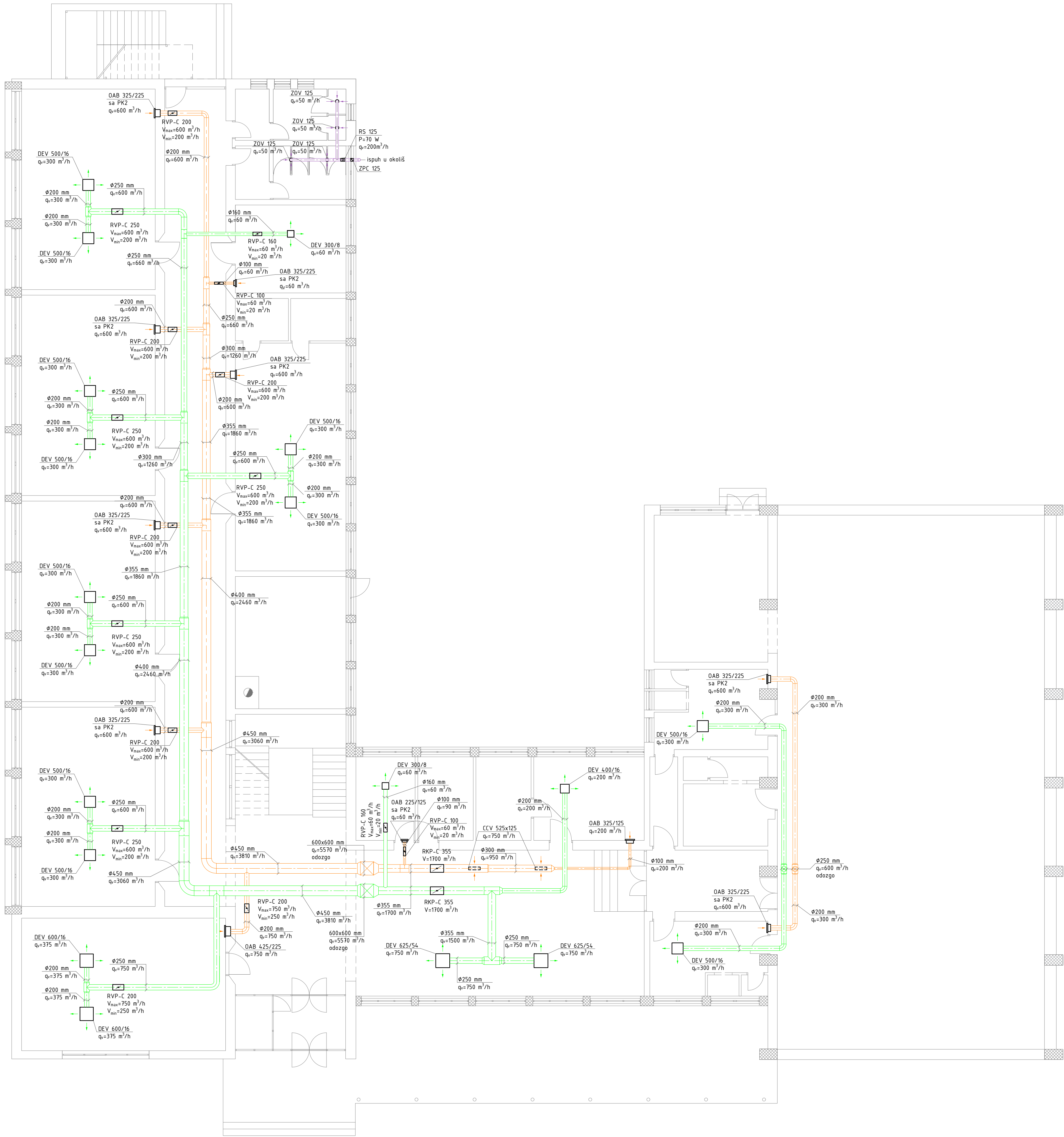


Polazni vod (70 °C)  
Povratni vod (60 °C)

|             |  |                 |        |              |
|-------------|--|-----------------|--------|--------------|
|             | Datum  | Ime i prezime   | Polpis |              |
| Projekтирао | 23.02.2018.  | Antonio Radenić |        |              |
| Разрадио    | 23.02.2018.  | Antonio Radenić |        |              |
| Читао       | 23.02.2018.  | Antonio Radenić |        |              |
| Пregledao   |  | Darko Smoljan   |        |              |
| Završni rad |  |                 |        |              |
| Objekt:     | Tlocrti spajanja i smještaje opreme sustava toplodvodnog grijanja - prvi kat |                 |        | Objekt broj: |
|             |  |                 |        | R. N. broj:  |







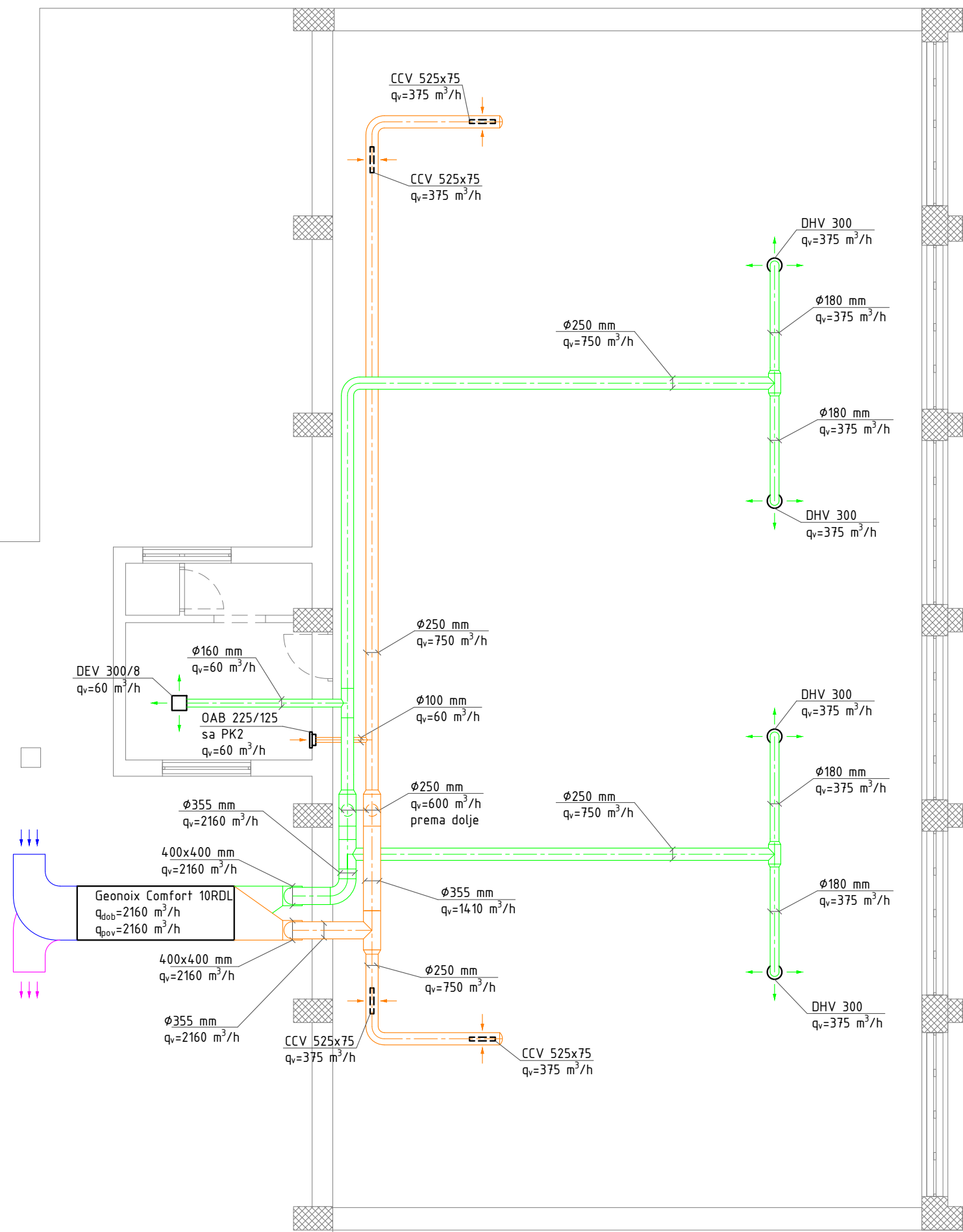
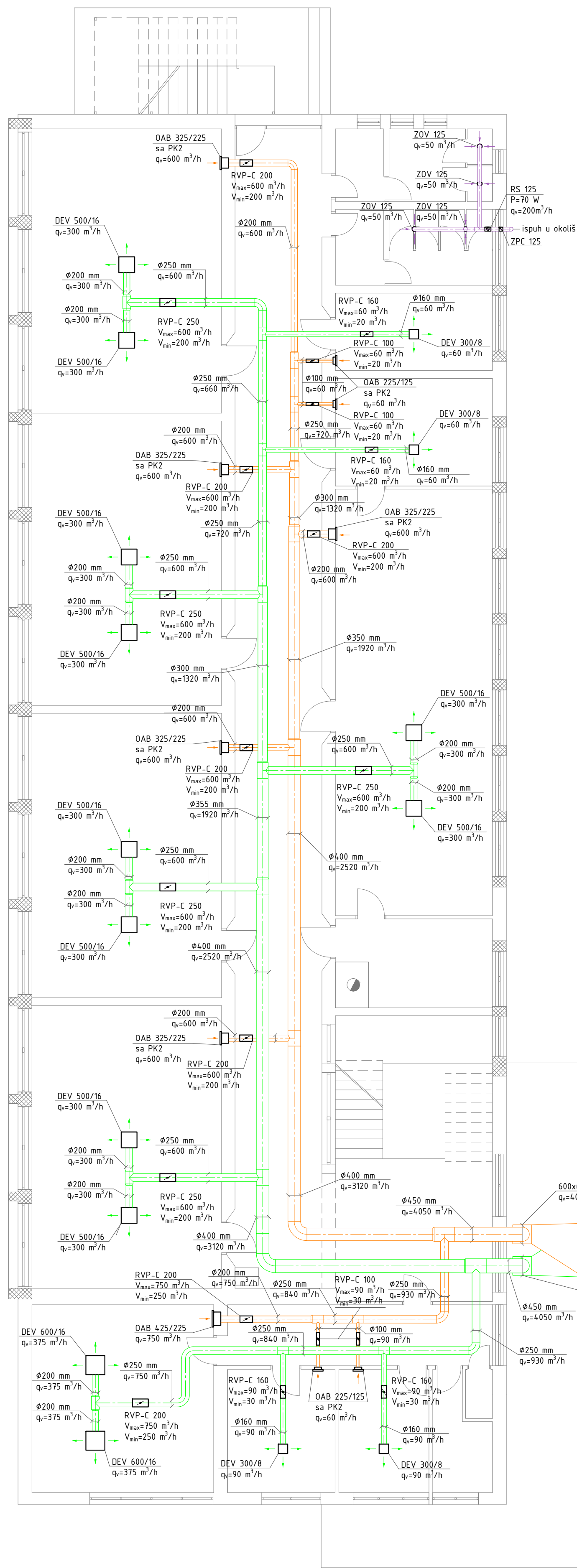
Dobavni zrak  
Povratni zrak  
Odsis sanitarija

Napomena: Svi kanali odsisa sanitarija su Ø125 mm

|   |             |                 |              |
|---|-------------|-----------------|--------------|
|   | Datum       | Ime i prezime   | Polpis       |
| Projektirao   | 23.02.2018. | Antonio Radenić |              |
| Rezagradio  | 23.02.2018. | Antonio Radenić |              |
| Pregledao   |             | Darko Smoljan   |              |
| Završni rad   |             |                 |              |
| Objekt: Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prizemlje |             |                 | Objekt broj: |
|   |             |                 | R. N. broj:  |







- Dobavni zrak
- Povratni zrak
- Vanjski zrak
- Istrošeni zrak
- Odisis sanitarija

Napomena: Svi kanali odnosa sanitarija su Ø125 mm

|  |                 |        |
|--|-----------------|--------|
| Datum  | Ime i prezime   | Polpis |
| 23.02.2018.  | Antonio Radenić |        |
| 23.02.2018.  | Antonio Radenić |        |
| 23.02.2018.  | Antonio Radenić |        |
| 23.02.2018.  | Darko Smoljan   |        |
| Završni rad  |                 |        |
| Objekt: Tlocrt spajanja i smještaja opreme ventilacijskog sustava - prvi kat | Objekt broj:    |        |
|  | R. N. broj:     |        |



